

El Colegio de la Frontera Sur

Respuestas de nemátodos al manejo agrícola de cafetales

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural

por

Simona Landi

2008

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	6
MATERIALES Y MÉTODOS	6
ÁREA DE ESTUDIO	6
TRABAJO DE CAMPO	7
<i>Elección de los cafetales</i>	8
<i>Esquema experimental y recolectas datos</i>	9
<i>Toma de fotos hemisféricas y determinación de la luz</i>	10
TRABAJO DE LABORATORIO	11
<i>Análisis del suelo</i>	11
<i>Extracción de los nemátodos, procesamiento e identificación</i>	11
<i>Calculo de los índices</i>	13
<i>Análisis estadístico</i>	14
RESULTADOS	15
DESCRIPCIÓN DE LAS “PRÁCTICAS DE CULTIVO”	15
DESCRIPCIÓN DE LOS CAFETALES BAJO ESTUDIO	16
<i>Parcela 1 – Manejo en pleno sol</i>	16
<i>Parcela 2 – Manejo bajo sombra</i>	17
<i>Parcela 3 – Manejo bajo sombra</i>	17
LUZ A 2 m DE ALTURA EN LA REJILLA	18
<i>Parcela 2 – Manejo bajo sombra</i>	18
<i>Parcela 3 – Manejo bajo sombra</i>	19
LA LUZ A 1 m DE ALTURA EN LA REJILLA	19
<i>Parcela 1 – Sol “uniforme”</i>	19
<i>Parcela 2 – Sombra “uniforme”</i>	19

<i>Parcela 3 – Sombra “con claros”</i>	20
LA LUZ A NIVEL DE LAS PLANTAS ELEGIDAS	20
<i>Parcela 1 – Sol “uniforme”</i>	20
<i>Parcela 2 – Sombra “uniforme”</i>	21
<i>Parcela 3 – Sombra “con claros”</i>	21
GRUPOS FUNCIONALES DE NEMÁTODOS	21
RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES LUZ Y NEMÁTODOS	23
DISCUSIÓN	23
CONCLUSIÓN	28
LITERATURA CITADA	30
ANEXO 1 – CUADROS	37
ANEXO 2 – FIGURAS	41
ANEXO 3 – Artículo sometido a la Revista <i>Interciencia</i>	45
<i>Distribución espacial de la luz y de los grupos funcionales de nemátodos en cafetales caracterizados por diferente manejo.</i>	

RESUMEN

No obstante que numerosos estudios científicos han demostrado el impacto positivo de los árboles de sombra de los cafetales sobre la biodiversidad, el mantenimiento del ciclaje de nutrientes y el control del microclima del agroecosistema, ante la inestabilidad de los precios del café en los últimos diez años, muchos productores han decidido tumbar la sombra. Poco se sabe sobre el impacto que esto pueda tener sobre los microorganismos edáficos y en particular de los grupos funcionales de nemátodos en estos agroecosistemas. Los nemátodos son buenos indicadores de las condiciones del suelo, algunas especies tienen un papel importante en la degradación de la materia orgánica y otras pueden causar daño a la planta de café.

El objetivo de esta investigación, utilizando un análisis estadístico descriptivo y geoestadístico, fue estudiar el impacto de la ausencia, presencia y heterogeneidad de los árboles de sombra sobre los grupos funcionales de nemátodos. Se encontró que la luz y los nemátodos tienen una distribución espacialmente dependiente y se distribuyen de manera heterogénea. La distribución de los grupos funcionales de nemátodos y su escala de autocorrelación, no cambiaron aunque cambió el manejo de la sombra. Sin embargo, en el cafetal cultivado bajo sol, se encontraron correlaciones entre la luz y los índices: fitoparásitos/nemátodos de vida libre (Fit/Libre) ($r = 0.44$, $P < 0.01$); fungívoros/bacterívoros y fungívoros/fungívoros+bacterívoros ($r = 0.30$, $P < 0.05$ para ambos). Esto indica que en presencia de luz aumenta la proporción de fitoparásitos respecto a los otros grupos y la proporción de fungívoros respecto a la de bacterívoros. Los resultados sugieren que en los cafetales en pleno sol la tendencia podría ser que las plantas de café están más expuestas al daño por nemátodos fitoparásitos y que el proceso de degradación de la materia orgánica podría volverse más lento.

Palabras clave: Agroecosistema café, sombra, grupos funcionales de nemátodos, fungívoros, bacterívoros, fitoparásitos, geoestadística, heterogeneidad, variabilidad especial.

INTRODUCCIÓN

El agroecosistema café (*Coffea* spp.) es uno de los más diversos del trópico. México representa el noveno productor mundial de café (Consejo Mexicano del Café, 2004). Su gran importancia económica es debida a la generación de ingresos que su exportación, principalmente a Estados Unidos y Europa, produce. Tres millones aproximadamente son los productores, que dependen de este cultivo y aproximadamente 665.837 las hectáreas de superficie ocupada por el mismo (Consejo Mexicano del Café citado por Aranda, 2004). Además de su importancia económica y social, estudios recientes han demostrado cómo la presencia de los árboles de sombra en los cafetales contribuye a la conservación de la biodiversidad (Perfecto *et al.*, 1996) y proporciona servicios ambientales, puesto que ayuda al mantenimiento del ciclaje de nutrientes, la conservación del suelo, y reduce los cambios extremos en el microclima del agroecosistema (Komar y Escobar, 2005; Barradas y Fanjul, 1984; Ramos-Suárez *et al.*, 2001; Perfecto *et al.*, 1996; Soto *et al.*, 2002; Yépez, 1997). Al mismo tiempo se ha demostrado como la diversidad misma de organismos asociados beneficia a los cafetales, por ejemplo regulando las poblaciones de insectos herbívoros, evitando que se conviertan en plagas (Perfecto *et al.*, 2004; Tejeda-Cruz y Sutherland, 2004; Perfecto y Vandermeer, 2002; Greenberg *et al.*, 2000; Ibarra- Núñez, 1990).

Desde hace muchos años hay un debate abierto sobre si es mejor cultivar el café en presencia o ausencia de sombra. Algunos trabajos (Beer, 1987; Fournier, 1987; Babbar y Zak, 1994; Beer *et al.*, 1998; Soto-Pinto *et al.*, 2000;) se han enfocado en la revisión de los aspectos agronómicos, ecofisiológicos y económicos que son la base del debate anteriormente mencionado, así como en el análisis de las interacciones ecológicas que ocurren entre los árboles de sombra y cultivos perennes como el café.

Según Fournier (1987) en cafetales bajo sol se puede obtener una producción entre 10 y 20% mayor respecto a la que se obtiene en cafetales cultivados bajo sombra. Sin embargo, este tipo de manejo deteriora más rápidamente las propiedades biológicas,

físicas y químicas del suelo provocando que los cafetales duren poco y su productividad sea menor (Beer *et al.*, 1998).

Los árboles en un cafetal pueden aportar mayor materia orgánica a través de la hojarasca, incrementando los procesos biológicos de bacterias y hongos y como consecuencia la fertilidad del suelo (Perez-Luna, 2001). Sin embargo, la presencia de árboles puede también generar condiciones de estrés en los cafetos debidas a su competencia por agua y nutrientes (Beer *et al.*, 1987). A pesar de esto último, la elección y el manejo de la sombra son instrumentos importantes para regular la incidencia de plagas y enfermedades (Beer *et al.*, 1998). Su presencia, por un lado reduce los estreses ambientales aumentando la tolerancia del café a enfermedades como *Cercospora coffeicola* (Berck y Curtis.), *Mycena citricolor* (Curtis.) o nemátodos como *Meloidogyne* (Neal.) y *Pratylenchus* (Filipjev.). Sin embargo, un excesiva densidad de sombra puede favorecer la incidencia de otras plagas como *Hypothenemus hampei* (Ferr.) (Beer *et al.*, 1998).

Tanto la presencia o la ausencia de un dosel arbóreo, como su heterogeneidad, modifican las condiciones de luz que se crean al interior de un cafetal. La heterogeneidad de la luz que se crea en un ecosistema origina heterogeneidad del hábitat (Breshears *et al.*, 1997), la cual tiene una estrecha relación con la distribución de los organismos del suelo y sus actividades (Ettema y Wardle, 2002). De esta forma, poblaciones de microorganismos como los nemátodos pueden ser influenciadas, cambiando su distribución espacial o aumentando sus densidades poblacionales (Ferraz y Brown, 2002), dando como resultado que se modifiquen procesos como la descomposición de la materia orgánica y el ciclaje de nutrientes o incluso convirtiéndose en plagas para el cultivo.

Se eligieron los nemátodos porqué son uno de los grupos de microorganismos más ricos en especies y más abundantes del suelo (Bongers y Ferris, 1999). Estos microorganismos viven directamente en contacto con el suelo, son poco móviles, taxonómicamente diversos y sensibles a los cambios que ocurren debido a

perturbaciones humanas o naturales (Niblack, 1989). Los nemátodos influyen en procesos edáficos como la degradación de la materia orgánica (Yeates, 1979) y los ciclos de los nutrientes, además tienen un papel importante en la cadena trófica y se les puede clasificar en función de sus hábitos alimenticios en grupos funcionales. Han sido utilizados como indicadores de la salud del suelo en diversos ecosistemas, ya que además de que intervienen en procesos como los mencionados antes, son susceptibles a los disturbios, a los cambios en las características del suelo y a los agroquímicos (Norton y Niblack, 1991; Yardim y Edwards, 1998; Ritz y Trudgill, 1999; Neher, 2001).

En Chiapas, México, aunque la mayor parte de los cafetales están cultivados bajo la sombra de especies arbóreas, se encuentran productores que cultivan el café bajo la luz directa del sol, no obstante las ventajas que la presencia de los árboles de sombra puede proporcionar. Por lo general, estos agricultores no producen café orgánico, no están organizados en cooperativas, venden su producto en el mercado local o nacional. Por eso no se benefician de un precio garantizado, sufren más por los continuos cambios de los precios y enfocan su producción en la cantidad de café. Al cultivar este aromático en pleno sol se obtiene una producción un poco mayor de la que se obtiene en un cafetal cultivado bajo dosel, para algunos agricultores esta es una razón suficiente para elegir manejar su café al sol (comunicación personal de algunos productores de la zona de estudio).

En campo se pudo observar como, a causa de la heterogeneidad del dosel arbóreo, se pueden presentar en un cafetal zonas con una vegetación arbórea más uniforme y zonas donde ésta falta o es menos uniforme. Eso, junto con la presencia de las plantas de café, puede influir sobre la distribución espacial de la luz, creando parches de sombra y de sol a nivel del suelo, los cuales a su vez pueden modificar la distribución espacial de los nemátodos, puesto que la heterogeneidad espacial del hábitat tiene relación con la distribución de los organismos del suelo (Ettema y Wardle, 2002). En estas condiciones de heterogeneidad, posiblemente la práctica común de sacar muestras de suelo en una parcela para formar una muestra representativa de “una condición dada” (“sol” por

ejemplo), para luego compararlas con las de parcelas que se encuentran en una "condición opuesta" ("sombra" por ejemplo) (Petersen y Calvin, 1986; Boone *et al.*, 1999), puede no ser adecuada para evaluar el impacto de la luz sobre los nemátodos, dado que se mezclaría suelo expuesto a la luz y suelo expuesto a zonas de sombra. Por lo anterior se decidió explorar la metodología de la geoestadística que toma en cuenta la variabilidad espacial y el problema de autocorrelación de los datos (Rossi *et al.*, 1992).

Esta metodología, se ha utilizado en diferentes ecosistemas, para estudiar la distribución horizontal de los nutrientes, bajo una cobertura vegetal caracterizada por parches de dosel y claros (Schlensinger *et al.*, 1990; Padhen y Lajtha, 1992). Igualmente se han realizado estudios de la distribución horizontal de la luz bajo diferentes doseles arbóreos heterogéneos (Baldocchi y Collineau, 1994). Sin embargo, son pocos los trabajos que se enfocan en la distribución horizontal de la luz a nivel del suelo (Breshears *et al.*, 1997) y no se conocen estudios en cafetales.

En los cafetales, poco se sabe de la distribución de los diferentes grupos funcionales de nemátodos, en general estos tipos de investigaciones están enfocadas principalmente en el grupo de los fitopárasitos (Balmaceda Rodríguez M., S. Cruz Siles 1998; Hue *et al.*, 2004) y no se encontraron estudios sobre la distribución de la nematofauna en respuesta a la heterogeneidad de luz. Conociendo la importancia que tiene el control de la variable luz sobre otras variables ambientales y sabiendo que la variabilidad ambiental influye sobre la distribución espacial de los organismos edáficos (Ettema y Wardle, 2002; Rossi *et al.*, 1992), y sus actividades, consideramos interesante enfocarnos en este tipo de estudio.

Se considera de este modo, que el diseño espacial de las condiciones de luz, que se crea en cafetales caracterizados por un manejo diferente de la sombra, podría reflejarse en la distribución de las poblaciones de nemátodos y en las relaciones entre ellos representadas por los índices F/B = fungívoros /bacterívoros y Fit/Libre = fitoparásitos /nematodos de vida libre).

Estos índices dan indicaciones sobre el estado de degradación de la materia orgánica del suelo y la abundancia de los nemátodos fitoparásitos respecto a los otros grupos funcionales.

Se espera que la luz se comporte en forma heterogénea dentro de parcelas con manejo similar, debido a la heterogeneidad de los árboles de sombra y de los cafetos mismos. Posiblemente los nemátodos responderán de modo diferente a las condiciones de luz que se establecen a nivel del suelo. En particular se espera que los nemátodos fitoparásitos sean favorecidos en presencia de luz, por estar las plantas de café más estresadas. Además, se considera que en cafetales en pleno sol las condiciones microclimáticas más extremas no sean ideales para los organismos que realizan los procesos de degradación y mineralización de la materia orgánica, lo que favorecería una relación C/N más alta, condición en la cual predomina la actividad de los nemátodos fungívoros.

OBJETIVOS

Utilizando un enfoque geoestadístico, los objetivos de este estudio fueron: 1) analizar y evaluar si la luz que se filtra por el dosel de un cafetal y llega al suelo, presenta heterogeneidad y una distribución espacial estructurada debida al manejo de la sombra; 2) describir y analizar la distribución espacial de los grupos tróficos de nemátodos como respuesta a esta heterogeneidad, 3) determinar si existen relaciones entre la distribución espacial de las variables estudiadas.

MATERIALES Y METODOS

AREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la comunidad de San Cayetano ($16^{\circ}57'47''$ N y $92^{\circ}45'33''$ W), ubicada a lo largo de la carretera para Bochil y perteneciente al municipio de El Bosque en el Estado de Chiapas, México (Fig. 1).

La región se ubica en las montañas del norte del estado y presenta un relieve muy variado y accidentado (INEGI, 1998). El clima predominante es cálido húmedo con lluvias todo el año, la temperatura media anual en la cabecera municipal es de 22.5 °C y la precipitación pluvial de 2.500 mm anuales (INEGI, 1993). Los suelos dominantes se clasifican como nitosoles, andosoles y litosoles. Estos suelos se caracterizan por ser respectivamente: oscuros y muy ligeros con alto contenido de ceniza y materiales de origen volcánico; suelos brillantes, profundos y muy arcillosos en todo el perfil, típicos de zonas muy lluviosas; hasta suelos muy delgados con menos de 10 cm de espesor (INEGI, 1998). La vegetación dominante se clasifica como selva alta perennifolia. La principal actividad productiva del municipio es la agricultura y los cultivos predominantes son café, maíz, frijoles y plátanos. Más del 98% del total de las localidades que conforman el municipio son rurales. La población indígena habla el dialecto Tzotzil.

En cuanto a San Cayetano, éste se encuentra a una altitud de 1500 m snm, y actualmente esta constituida por aproximadamente 2000 habitantes (INEGI, 2005, reporta 1323). Cuenta con una cooperativa de taxis en la cual están involucradas algunas familias, las cuales obtienen de esa actividad su principal ingreso (comunicación personal). Sin embargo, la mayor parte de los 140 ejidatarios se dedica a la agricultura, en particular al cultivo de café que venden en el mercado local, y en menor grado a la ganadería.

TRABAJO DE CAMPO

El trabajo de campo se desarrolló de enero a mayo del año 2007. Inicialmente consistió en el acercamiento a la comunidad, a través de la autoridad ejidal, Don Miguel Gonzáles Gómez. Después de un primer momento de desinterés, a través de pláticas informales y la presentación del trabajo que se quería desarrollar, se creó con Don Miguel un ambiente de suficiente confianza y se obtuvo una invitación a recorrer sus cafetales y a participar en la reunión ejidal, que la comunidad tiene mensualmente. Esta reunión fue la oportunidad para presentarnos, presentar el estudio y tener el permiso

formal para trabajar en la comunidad y con los productores interesados. Sucesivamente se organizaron los primeros recorridos a los cafetales y se pudo platicar con los cafeticultores sobre las prácticas culturales realizadas en las parcelas objetos de estudio y a cerca de los problemas a los cuales se enfrentan con el cultivo del café. La información obtenida sirvió para seleccionar los cafetales y para organizar el trabajo de campo posterior con los cafeticultores que tenían el tiempo y estaban interesados en participar y apoyarnos. Esta parte del trabajo se desarrolló entre marzo y mayo, periodo correspondiente a la época seca. Por cuestiones logísticas y de tiempo limitado no fue posible incluir un muestreo durante la época de lluvia. Muchos cafetales se encuentran demasiado lejos del pueblo y con caminos absolutamente inaccesibles en esta época durante la cual las lluvias pueden durar varios días, sin dejar el tiempo al suelo de secarse suficientemente como para poder muestrear.

Elección de los cafetales

Los cafetales pertenecientes a San Cayetano se localizan entre un gradiente altitudinal que varía de 1050 a 1570 m snm. En esta zona, se pueden encontrar cafetales cultivados bajo la sombra de la especie arbórea *Inga* spp., así como cafetales cultivados a pleno sol sin la presencia de un dosel. Prácticamente todos los productores manejan sus cafetales de una manera, que de aquí en adelante se llamará “convencional”. Este manejo se caracteriza por el uso de productos agroquímicos para las prácticas del deshierbe y de la fertilización. Solo dos de los productores cultivan el café de forma orgánica.

El trabajo se desarrolló en tres cafetales; uno manejado en pleno sol de (Parcela 1 definida como sol “uniforme” - convencional), y dos caracterizados por tener un dosel de *Inga* spp. (Parcela 2 - definida sucesivamente como sombra “uniforme” - convencional y Parcela 3 - definida sucesivamente como sombra “con claros” - orgánico). Se eligieron dos cafetales caracterizados por tener el mismo tipo de sombra, para averiguar si a pesar de eso, las condiciones de luz que se crean en el cafetal, pueden

ser diferentes. En el Cuadro 1 se describen las características de cada cafetal, en cada parcela de estudio.

Esquema experimental y recolecta datos

Los datos recolectados se obtuvieron a partir de dos diferentes esquemas de muestreo:

- 1 - una parcela de 40 x 15 m, establecida en cada cafetal estudiado.
- 2 - el área circular debajo de un promedio de 34 plantas de café, seleccionadas al interior de cada retícula.

La parcela consistió en un rectángulo de 40 x 15 m donde se marcó una cuadrícula con líneas equidistantes cada 5 m con lo que se generó una rejilla de 36 puntos.

En cada punto de intercepción de la rejilla se tomó una foto hemisférica a 2 m y a 1 m de altura del suelo. Para la toma de las fotografías se usó una cámara digital Nikon Coolpix 8400® con un lente tipo “ojo de pescado” Sigma® de 8 mm autonivelante (parrafo sucesivo). Las fotos a 2 m de altura del suelo se tomaron solo en los cafetales con sombra, con el objetivo de evaluar el grado de uniformidad de la sombra y de las condiciones de luz a la altura de los cafetos, y de analizar la situación en los dos diferentes cafetales de sombra (Parcela 2 y 3). En el cafetal sin dosel, se supuso que la cantidad de luz que llegaba al cultivo era la misma en todas las zonas de la rejilla. Las fotografías a 1 m de altura del suelo se tomaron en todos los cafetales y sirvieron para analizar y averiguar si la condición de luz, representada por cantidad y distribución de luz, a cerca del suelo (1 m de altura del suelo), era diferente de la que se presentaba a la altura de los cafetos, en cuanto posiblemente influenciada también por la presencia de las plantas de café.

Para el análisis de los nemátodos asociados al cultivo, se seleccionó un cierto número de plantas de café al interior de cada parcela (el Cuadro 1). Ello se decidió con la finalidad de poder muestrear la nematofauna directamente asociada al sistema radicular del cultivo. Considerando la posible diferencia por densidad de plantas en los cafetales

(por la cual el número de plantas elegidas es diferente), se seleccionó de manera sistemática (iniciando por el lado corto de la rejilla) la primera y la tercera planta de una fila y la cuarta y última planta de la fila siguiente, continuándose este procedimiento para el resto de la parcela. Las plantas de café elegidas fueron 38 en la parcela sol “uniforme”, 33 en la sombra “uniforme” y 36 en la parcela sombra con “claros”: de todas se tomó su posición respecto al eje más largo (eje x) y al eje más corto (eje y), de la parcela experimental, para ubicarlas a su interior. Posteriormente, alrededor de cada planta elegida en el interior de la rejilla, en un área circular de aproximadamente 60 cm de diámetro, se tomaron ocho muestras de suelo (Fig. 2), usando un muestreador cilíndrico de 2.5 cm de diámetro y 35 cm de largo, para formar una muestra compuesta por planta (Parcela 1, n = 38 plantas; Parcela 2, n = 33 plantas; Parcela 3, n = 36 plantas). En correspondencia de cada una de las plantas elegidas, a un 1 m de altura del suelo, se tomó otra vez una fotografía hemisférica. Ello permitió correlacionar los nemátodos asociados a cada planta de café, con la luz que recibe el suelo alrededor de la misma planta.

Para cada parcela y a partir de una muestra compuesta, se determinó la textura del suelo.

Toma de fotos hemisféricas y determinación de valores de luz

Las fotografías hemisféricas se tomaron mediante una cámara digital Nikon Coolpix 8400® con un lente tipo “ojo de pez” Sigma® de 8 mm autonivelante. El equipo, se montó a su vez sobre un monopié, para la toma de fotografías a 2 m y en un trípode para tomar las fotos a 1 m de altura. Las fotos se tomaron durante la época seca (marzo-abril), en las primeras o últimas horas del día (cuando el sol no estaba en lo alto en el cielo), para evitar que la luz directa del sol se reflejara sobre el lente hemisférico y causara problemas durante la clasificación de las fotos.

Las fotografías fueron corregidas con el software Photoshop® para eliminar los reflejos observados en ellas. Posteriormente, fueron clasificadas mediante el programa HemiView 2.1 - Canopy Analysis Software (AT Delta-T Devices). Dada la pendiente de

las parcelas y la proyección de 180° alrededor de cada fotografía hemisférica, resultaba incluido parte del pasto circundante. Para eliminar este efecto, durante la clasificación, se tomó en cuenta únicamente el 70% del área total de la foto. La clasificación permitió calcular la proporción global de luz directa y difusa (Global Site Factor, GSF) que penetra en el dosel (“total site factor” *sensu* Anderson, 1964), los valores obtenidos se utilizaron para la elaboración de mapas de luz y para el análisis estadístico.

TRABAJO DE LABORATORIO

Análisis del suelo

La muestra compuesta de cada parcela se utilizó para determinar la textura del suelo según el método AS-09 de Bouyoucos (1951).

Extracción de nemátodos, procesamiento e identificación

Las muestras de suelo se conservaron a baja temperatura en una hielera de campo hasta ser trasladadas al laboratorio, donde se refrigeraron, y en los días siguientes se sometieron al proceso de extracción de los nemátodos. El método usado para la extracción, fue el de los embudos de Baermann (McSorley y Welter, 1991), el cual se basa en la capacidad de movimiento de los nemátodos y en su tendencia a trasladarse hacia las zonas más húmedas del suelo o los espacios ocupados de líquido. Por esta razón, no se pueden extraer los nemátodos muertos y aquellos caracterizados por una escasa movilidad (e.g., los géneros de la familia *Criconematidae*; aunque estos géneros si se encontraron entre los nemátodos extraídos). A pesar de lo anterior, es un método sencillo que no requiere de materiales complicados y es de fácil aplicación.

El procedimiento consistió en colocar en el cuello de embudos sostenidos por un soporte, tubos de plástico cerrados en el fondo con clips. En seguida en la parte cónica del interior de los embudos, se colocó papel filtro o un pañuelo facial de papel y encima se depositaron 100 g de suelo aproximadamente. El embudo se llenó con agua hasta casi

cubrir el suelo. Pasadas 48 horas (tiempo de espera para la extracción), se recolectó el agua contenida en el cuello de los embudos, que es donde se concentran los nemátodos.

Los nemátodos se mataron y conservaron en agua con formaldehído al 4%, (Moens, 1993, Diemont y Martin, 2005) se contaron usando un microscopio estereoscopio y se procesaron para luego montarlos en láminas portaobjetos.

Para el procesamiento se siguió el método De Grisse (1969), que utiliza tres soluciones diferentes (Sol. 1= 99 partes de formaldehído al 44% y 1 parte de glicerina; Sol. 2= 95 partes de etanol al 96% y 5 partes de glicerina; Sol. 3= 50 partes de etanol al 96% y 50 partes de glicerina), para extraer el agua de los tejidos de los nemátodos y sustituirla con la glicerina. Eso garantiza la mejor conservación de los tejidos y una visión más clara de estos microorganismos al microscopio durante su clasificación.

Los nemátodos de cada muestra se procesaron de forma separada, colectándose individualmente del agua de extracción y luego se depositaron en positos de vidrio (Staining block) con algunas gotas (3-4 gotas) de la Solución 1. Los positos fueron colocados sobre una plancha caliente a temperatura controlada (aproximadamente 40 °C), por unas horas se estuvo agregando periódicamente 2-3 gotas de Solución 2. El proceso de fijación de los tejidos de los nemátodos, se completó añadiendo 2-3 gotas de Solución 3. El procedimiento de fijación en total tendría que desarrollarse en el curso de 6-7 horas, sin embargo, no teniendo un número suficiente de staining block respecto al número de muestras de procesar se optó, por cuestiones de tiempo de restringir la duración del procedimiento de fijación a la mitad del tiempo.

Para el montaje de los nemátodos en portaobjetos, se empleó una modificación del método del "anillo de parafina" De Grisse (1969). Mediante un tubo de cobre se creó un anillo de parafina sobre el portaobjeto, depositando en el centro del anillo una gota de glicerina con el fin de acomodar al interior a los nemátodos. El portaobjeto fue cubierto delicadamente con un cubreobjeto, luego se colocó sobre una plancha el tiempo necesario para favorecer la licuefacción de la parafina y permitir que ambas piezas se fijaran. Una vez que el portaobjeto se enfrió se procedió a realizar la observación al

microscopio. Dependiendo de sus hábitos alimenticios y la morfología de la boca y del esófago, los nemátodos se clasificaron en los siguientes grupos funcionales: bacterívoros, fungívoros, fitoparásitos y depredadores/omnívoros (Yeates *et al.*, 1993).

Cálculo de índices

Se calculó la proporción relativa de fungívoros (F) y bacterívoros (B) como el cociente F/B (Freckman and Ettema, 1993) y como $F / (F+B)$ según Neher (2001). Valores de los índices cercanos a cero, correspondientes a mayor cantidad de nemátodos bacterívoros respecto a los fungívoros; están correlacionados a tasas rápidas de descomposición y ciclaje de los nutrientes y como consecuencia a mayor disponibilidad de los mismos en el suelo. Por el contrario, valores de los índices cercanos a uno, correspondientes a mayor proporción de fungívoros respecto a bacterívoros, indican la presencia de materia orgánica no labíl, más difícil de mineralizar, e implica mayor lentitud de los procesos de degradación y menor cantidad de nutrientes disponibles (Moor, 1994). Se ha establecido que una mayor cantidad de bacterívos respecto a la de fungívoros, está relacionada a la presencia de materia orgánica con una relación C/N < 20:1 (Ferris y Matute, 2003). Por el contrario, la descomposición realizada por fungívoros predomina cuando la materia orgánica se caracteriza por una alta relación C/N. Es así como, el análisis de la nematofauna se puede considerar un buen bioindicador de las condiciones del suelo y de la estructura y funcionalidad de la cadena alimenticia (Neher, 2001; Bongers y Ferris, 1999)

Otro índice calculado fue la proporción entre los nemátodos fitoparásitos y los de vida libre (expresado en el Cuadro 4 como Fit/Libre). Este índice, permitió tener indicaciones acerca de la respuesta de los fitoparásitos respecto a la de los otros grupos funcionales (Neher, 2001), a la luz medida. Como además existe la posibilidad de que este grupo de nemátodos se convierta en plaga cuando su población aumenta o cuando la relación con los grupos que los regulan (omnívoros y depredadores) se desestabiliza, este índice resulta muy útil para investigar si la luz podría favorecer estas condiciones.

Los índices mencionados se calcularon en correspondencia de cada planta elegida, y así se pudieron relacionar a la medida de luz correspondiente.

Análisis estadístico

Dado que la estadística y los diseños experimentales clásicos intentan minimizar los efectos de la variabilidad ambiental y además requieren que todas las muestras sean estadísticamente independientes o no autocorrelacionadas, supuestos poco reales en trabajos de campo, se decidió explorar la metodología de la geoestadística, en cuanto toma en cuenta la variabilidad ambiental, el problema de autocorrelación de los datos y permite analizar y cuantificar el grado y la escala de variación de las variables de estudio (luz y nemátodos).

De cada variable, se realizó un análisis estadístico descriptivo (medidas de tendencia central; con SPSS v.11) y uno geoestadístico (análisis de variogramas; con Surfer v.8.0 y GS+ v.5). Lo que se persigue con el análisis de variograma, es probar básicamente dos hipótesis. Una, que el fenómeno bajo estudio presenta una estructuración espacial, es decir un patrón espacial en su distribución, que se ajusta a un modelo y tiene autocorrelación dentro de las dimensiones de la parcela. La alternativa es que el mismo fenómeno presenta una distribución aleatoria o sea, no tiene un patrón espacial, y aunque se ajuste a un modelo de variograma no se encontrará autocorrelación dentro del tamaño de la parcela.

En resumen el análisis de variograma permite definir: el porcentaje de la varianza de los datos de la variable objeto de estudio, que tiene una estructura espacial [$C/(C+Co)$ en el Cuadro 3 de variogramas]; si las variables bajo estudio (luz y nemátodos en el caso específico) se distribuyen de manera homogénea o heterogénea, en sentido general y dentro las dimensiones de la parcela experimental; y cuál es la dimensión del fenómeno de autocorrelación espacial. Con los resultados de los variogramas, y los datos de la rejilla, se realizó una ponderación de ambos (datos y variogramas) según el método de la interpolación por Kriging puntual, con el fin de

generar mapas de contorno de cada variable (luz, grupos funcionales de nemátodos) por parcela (Isaaks y Srivastava 1989).

Posteriormente, se estimaron los coeficientes de correlación de Pearson (análisis de correlación) entre la luz, los nemátodos y los índices. Con el propósito de intentar a normalizar la distribución de los datos (aunque no fue posible normalizar completamente los datos de nemátodos), estos se transformaron en logaritmo natural ($x+1$). El análisis de correlación, junto con la evaluación de los mapas de contorno, sirvió para evaluar y relacionar la distribución espacial de los diferentes grupos funcionales de nemátodos y la distribución espacial de luz.

RESULTADOS

A continuación, una breve descripción de las principales prácticas culturales realizadas por los cafeticultores y una breve descripción de los cafetales bajo estudio.

DESCRIPCIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE CULTIVO

Las principales prácticas agrícolas que los productores involucrados en este estudio realizan en el cafetal son: manejo de la sombra, poda de rejuvenecimiento de los cafetos, resiembra de los arbustos del café, fertilización y deshierbe.

El manejo de la sombra (localmente llamado “desombre”) se realiza con criterios que no están bien establecidos ni son fijos. Consiste principalmente en eliminar completamente los árboles de sombra o en podar ramas de los mismos. La época durante la cual se realizan estas labores es después de la cosecha (marzo-abril). La poda de rejuvenecimiento de los cafetos consiste en: a) podarlos completamente para que se formen nuevos rebrotes (localmente llamada “recepta”), o b) podar aquellas ramas de la planta del café que están viejas o que ya no producen frutos. Esta práctica se realiza con machete, y como la anterior, se efectúa después de la cosecha, únicamente en los casos y en las plantas que el productor considere necesario. La resiembra de los arbustos de café se realiza en espacios vacíos del cafetal durante el periodo de más lluvia (agosto, septiembre y octubre); para esto se utilizan plántulas crecidas a partir de los granos de

café dejados expresamente en el suelo en pequeñas áreas de la parcela (semilleros). La fertilización se realiza dos veces al año (enero-febrero y junio-julio) en función de las disponibilidades económicas del productor. En el manejo “convencional” del cafetal se utilizan fertilizantes químicos como la urea o Triple 17® (contiene N-P-K al 17 % y otros nutrientes en menor cantidad). La manera de dispersión del fertilizante consiste en crear con la azada, un espacio con forma de media luna alrededor de la planta donde se deposita el fertilizante a una profundidad de 5-6 cm. La cantidad que se usa es aproximadamente de 200 gr por planta. Los productores (solo dos en esta comunidad), que trabajan el café sin uso de agroquímicos, fertilizan las plantas con composta orgánica. Este fertilizante natural se prepara creando capas, en algunos puntos del cafetal, con el pasto que se corta al momento de la limpia, la pulpa de café, estiércol de caballo y hojarasca. Los cúmulos se revuelven con pala periódicamente y se cubren con un plástico negro. Cuando la composta esta lista, se le pone alrededor del tallo de cada planta, una cantidad de aproximadamente 3 kg. El deshierbe, llamado también limpia o chaporreo, se lleva a cabo tres veces al año, dos veces manualmente, y una vez con productos químicos en el caso del manejo “convencional”. Para el deshierbe manual se usa el machete o el azadón, mientras para el deshierbe químicos los productos que se usan más frecuentemente son Gramoxone (Paraquat) y Faena (Glifosato). Las épocas en las cuales se realiza esta práctica son marzo-abril, agosto y noviembre. En el caso del manejo “orgánico”, se efectúa solo un deshierbe manual y además se dejar al suelo una cobertura vegetal, por todo el periodo del año. El suelo de cafetales orgánicos, está cubierto de una hierba localmente llamada Tzemané (Familia: Commelinaceae; Genero: *Commelina*). Tal hierba es sembrada por el productor, por sugerencia de la cooperativa social que le recibe el café orgánico, en cuanto la *Commelina* ayuda la conservación del suelo.

DESCRIPCIÓN DE LOS CAFETALES BAJO ESTUDIO

Parcela 1 – Manejo en pleno sol

Se encuentra a la orilla de la carretera para Bochil (16°57'47" N y 92°45'33" W), a 5 min. en vehículo desde San Cayetano. La parcela tiene aproximadamente una

superficie total de 2500 m² y una pendiente promedio del 39%. Se encuentra a una altitud de 1553 msnm y la orientación es NE. Los cafetos son de las variedades Caturra y Bourbon y están plantados más o menos regularmente a una distancia de 2 - 2.40 m. En la parcela experimental establecida por la investigación, el 86% de las plantas de café, pertenecieron a la primera variedad y el restante 13% fueron Bourbon. La edad promedio del cultivo en la parcela era de siete años, aunque en la parcela experimental se encontraron plantas que tenían desde cuatro hasta nueve años. Las prácticas culturales realizadas por el productor anteriormente al estudio fueron, la fertilización en febrero con Triple 17 y el deshierbe, realizado tres semanas antes de la toma de las muestras de suelo (mayo), con Glifosato.

Parcela 2 - Manejo bajo sombra

Después de 40 min. de camino, del pueblo se llega a este cafetal. La superficie total es de 1 ha aproximadamente y la pendiente mayor fue del 44%. Se encontró a una altitud de 1287 m snm y tuvo una orientación SW. Es un cafetal cultivado bajo sombra. El dosel está totalmente constituido por árboles de *Inga* spp. La edad promedio de estas leguminosa, plantada de modo regular aproximadamente cada 4.5 - 5 m, fue de 20-30 años y la sombra se presentó bastante uniforme. También los cafetos, de la variedad Caturra y Bourbon, estaban plantados de modo regular a una distancia de 2 - 2.40 m. Al interior de la parcela experimental, la variedad Caturra representó el 58% y la variedad Bourbon el 42%. En general la edad promedio de las plantas de café, fue de 12 - 15 años. Un mes antes de la toma de las fotos a 1 m y del muestreo de suelo, el productor desyerbó químicamente el cafetal con Glifosato.

Parcela 3 - Manejo bajo sombra

Este cafetal se encuentra en la zona donde existía anteriormente la vieja finca de San Caralampio, aproximadamente a 75 min de camino del ejido de San Cayetano. La superficie total de la parcela era aproximadamente de 2 ha, se encontraba a una altitud de 1149 m snm y presentó una orientación SW. La parcela no tenía un relieve muy

variado y su pendiente mayor fue en promedio del 22%. Representa la parcela con la menor pendiente, respecto a todas las otras parcelas donde se trabajó. El café se cultiva bajo un dosel constituido casi totalmente de árboles de *Inga* spp. Entre los árboles de sombra, estaban presente también 20 matas de cedro (*Cedrela odorata* L.) que el productor sembró hace 2 años y unas de plátanos que se usan para consumo familiar. Las ingas están plantadas más o menos regularmente cada 5 m y tuvieron una edad entre los 15 y 20 años, sin embargo a primera vista, no creaban una sombra bien uniforme en toda la parcela. La variedad de café sembrada es el Bourbon. El 86% de los cafetos presentes en la parcela experimental, sembrados de modo regular cada 2.30-2.50 m, tuvieron una edad promedio entre los 20 y 30 años, 2 matas (5.5%) recién resembradas del productor tuvieron una de edad entre los 6 meses y 1 año, y las restantes una edad de 8-15 años. Al momento de las tomas de las fotos y del muestreo de suelo, en la zona del cafetal donde se trabajó, el productor no había ni podado la sombra, ni las plantas de café. Todavía no se había realizado el deshierbe manual, pero se había fertilizado los cafetos con composta, durante el mes de febrero.

LA LUZ A 2 m DE ALTURA EN LA REJILLA

Parcela 2 – Sombra “uniforme”

Es la parcela de sombra que recibe la cantidad de luz promedio ($0.63 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$) más baja y el coeficiente de variación (CV) más alto (26%) (Cuadro 2). Puesto que los CV bajos (< 25%) sugieren homogeneidad y los CV altos (> 25%) heterogeneidad (Isaaks y Srivastava 1989), se espera baja heterogeneidad de la variable luz, en el interior de esta parcela a la altura de los cafetos. Sin embargo, el mapa de contorno y el análisis de semivarianza (Fig. 3 y Cuadro 3) demostraron que la luz se distribuye de manera heterogénea. El 94% de la varianza de los datos fue espacialmente dependiente, y las dimensiones de los parches son 10 m. En la mayor parte de la parcela los parches difieren por pequeñas variaciones de los valores de luz.

Parcela 3 – Sombra “con claros”

En esta parcela se registró en promedio más luz ($0.817 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$) en comparación a la parcela anterior, y a lo largo de toda la cuadrícula, condición que se observó en el mapa (Fig. 2) y que en parte explica el CV más bajo (17%). El 92% de la varianza de los datos se presentó autocorrelacionada a una escala de 7.00 m, y la luz se distribuyó de manera heterogénea, aunque en general la heterogeneidad es representada por parches que difieren sólo por pequeñas variaciones en sus valores.

LA LUZ A 1 m DE ALTURA EN LA REJILLA

Parcela 1 – Sol “uniforme”

Esta parcela registró el valor promedio de luz máximo ($0.94 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$), y el CV más bajo (8 %) (Cuadro 3) de las parcelas muestreadas. Esta última característica sugiere que la parcela 1 fue la que recibió la luz de forma más homogénea. Tanto la observación del mapa como el análisis de semivarianza (Fig. 3 y Cuadro 3) confirmaron la homogeneidad de luz en esta parcela. El 68% de la varianza de los datos se encontró espacialmente dependiente, si bien a una escala de 54.30 m, mayor a la magnitud de parcela. Al interior de ésta la luz se distribuyó de manera homogénea, con pequeñas variaciones de los valores de luz. A este nivel la parcela se consideró de “sol uniforme” y así se definirá en adelante.

Parcela 2 – Sombra “uniforme”

En esta parcela se registró la menor cantidad de luz promedio ($0.23 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$) de las tres parcelas a este nivel, y presentó un CV de 52% (Cuadro 2). En esta parcela se encontró que la cantidad máxima de luz que llega al suelo ($0.64 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$) nunca llega a igualar la cantidad mínima de luz que recibe la parcela de sol ($0.80 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$) (límites mínimos y máximos presentes en los mapas de contorno). El CV demuestra alta variabilidad (Cuadro 2) y el análisis de variograma (Cuadro 3) evidenció que 99% de la varianza de los datos es espacialmente dependiente a escala de 10.00 m. En realidad, aunque la luz se presentó estructurada, el mapa (Fig. 3) mostró como los parches son

caracterizados por diferentes gradientes de una sombra bastante homogénea, o sea, todo es sombra, si nos referimos a la cantidad de luz que llega el suelo, pero con pequeñas variaciones en los valores de luz, que son los que determinaron la heterogeneidad. Esta parcela se definió como sombra “uniforme”.

Parcela 3 – Sombra “con claros”

Esta parcela recibió una cantidad promedio de luz intermedia ($0.47 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$), respecto a las parcelas de sol “uniforme” y de sombra “uniforme”, y presentó un CV de 53%. En esta parcela la luz se distribuyó de manera heterogénea, con datos autocorrelacionados hasta 14 m (Cuadro 3). Aunque esta parcela presenta un dosel arbóreo, se crearon condiciones de fuerte contraste entre parches caracterizados por valores que consideramos “sombra” y parches caracterizados por valores de luz que consideramos “sol” (claros). Efectivamente, en el mapa se observaron zonas donde el suelo recibe cantidad de luz igual a la que recibió la parcela 1 de pleno sol. (Fig. 3) La sombra de la parcela 3 se definió de sombra “con claros”.

LA LUZ A NIVEL DE LAS PLANTAS ELEGIDAS

Al interior de cada parcela se seleccionó un determinado número de plantas de café en función de la densidad del cultivo en cada cafetal, de tal modo de centrar el análisis en los nemátodos asociados al sistema radicular del cultivo

Parcela 1 – Sol “uniforme”

Respecto a las plantas seleccionadas, esta es la parcela que recibió el valor promedio de luz máximo ($0.80 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$), y que presentó el CV más bajo (22%) (Cuadro 2). Los resultados de semivarianza indicaron que la luz presenta una estructura espacial en forma de parches (datos autocorrelacionados hasta 6.40 m) (Cuadro 3), distribución que contrasta con la homogeneidad sugerida por un CV bajo. El mapa de contorno, muestra una zona de sombra en la parte central de la parcela, lo que se explica por

ubicarse en esta área las plantas de café de mayor tamaño (Fig. 3). El resto de la parcela presentó variaciones mínimas de los valores de luz.

Parcela 2 – Sombra “uniforme”

En esta parcela el suelo en correspondencia con las plantas elegidas recibió la cantidad de luz promedio menor (Cuadro 2), si bien presentó un CV de 58%, lo que presupone una alta heterogeneidad. Efectivamente, la luz se presentó estructurada con datos autocorrelacionados hasta 19.18 m (Cuadro 3). No obstante, el mapa mostró como los valores de luz que caracterizan los parches nunca alcanzan el intervalo de valores que se consideró como “sol” ($0.80 - 1.00 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$), (Fig. 3). La heterogeneidad de la luz se debe a pequeñas variaciones existentes entre el intervalo de valores de luz que se definió como “sombra”.

Parcela 3 – Sombra “con claros”

En este cafetal, la heterogeneidad de la luz a nivel del suelo se expresó a partir de su CV (Cuadro 2), la que se corroboró con el mapa de contorno, donde existe evidencia de datos autocorrelacionados a 4.30 m (Fig. 3 y Cuadro 3). La parcela 3, a nivel del suelo en correspondencia con las plantas elegidas, se caracterizó por un fuerte contraste sol-sombra, con parches caracterizados por valores de luz similares a los registrados en la parcela de sombra anterior, así como parches con valores de luz similares a la parcela de sol. Es de este modo como, nuevamente, esta parcela se puede definir como sombra “con claros”.

GRUPOS FUNCIONALES DE NEMATÓDOS

La abundancia de cada grupo funcional de nemátodos, calculada como promedio por 100 gr de suelo fue, en el caso de los fitoparásitos, de 2.03 ± 5.94 , 19.03 ± 31.97 y 2.61 ± 4.08 respectivamente para las parcelas sol “uniforme”, sombra “uniforme” y sombra “con claros”. Para los bacterívoros, se encontraron valores de 4.26 ± 7.24 , 155.94 ± 210.01 y 3.94 ± 4.43 respectivamente. En el mismo orden de las parcelas, los fungívoros

presentaron un abundancia promedio de 3.11 ± 4.36 , 7.97 ± 14.08 y 0.06 ± 0.33 mientras que, para el grupo funcional depredadores - omnívoros se encontraron valores de 1.97 ± 1.95 , 16.76 ± 38.43 y 1.61 ± 1.85 . La abundancia de cada grupo funcional de nemátodos en el interior de cada parcela se presentó altamente variable como lo demuestran los CV (Cuadro 2), variando de 99% a 147% en la parcela manejada bajo sol; de 79% a 229% en la parcela de sombra definida como “uniforme”; y de 80% a 97% en la parcela definida como sombra “con claros”. En promedio los fitoparásitos tuvieron el CV más alto (183%), mientras que los bacterívoros resultaron los menos variables (71%). Los análisis de semivarianza sugieren que 50 a 100% de la varianza de la población muestreada, es espacialmente dependiente a una escala, que de 7.8 a 16 m en la parcela de sol; 4.3 a 12 m en la parcela definida como sombra “uniforme”; y 3.6 a 4.3 m en la definida como sombra “con claros” (Cuadro 3).

Los mapas relativos a la distribución de los nemátodos (Fig. 4) y los coeficientes de Pearson (Cuadro 4) confirmaron que algunos grupos funcionales se correlacionan entre sí de manera significativa. En la parcela definida como sol “uniforme”, los fitoparásitos se correlacionaron con bacterívoros ($r = 0.62$, $P < 0.01$), fungívoros ($r = 0.62$, $P < 0.01$) y depredadores - omnívoros ($r = 0.43$, $P < 0.01$). La distribución de los bacterívoros presentó correlaciones significativas con la de fungívoros y depredadores - omnívoros ($r = 0.52$, $P < 0.01$; $r = 0.38$, $P < 0.01$). Entre estos últimos dos grupos se encontró una correlación leve ($r = 0.31$, $P < 0.05$). Se determinaron correlaciones entre los mismos grupos de nemátodos, también en la parcela definida como sombra “uniforme”. Los valores de los coeficientes se reportan en el Cuadro 4. En la parcela de sombra “con claros” los fitoparásitos se correlacionaron significativamente con los bacterívoros ($r = 0.45$, $P < 0.05$) y, menos fuertemente con los fungívoros ($r = 0.32$, $P < 0.05$).

Los mapas de contorno de los nemátodos (Fig. 4) mostraron como en las parcelas 1 y 2 (sol “uniforme” y sombra “uniforme”), existe una tendencia en la distribución espacial de las diferentes categorías de nemátodos, las cuales se concentran más o menos en la misma área de la parcela. Por el contrario no se evidenciaron tendencias en la parcela de sombra “con claros”.

RELACIONES ENTRE LAS VARIABLES LUZ Y NEMATÓDOS

En la parcela de sombra “con claros”, la única correlación significativa se determinó entre la luz y el grupo funcional depredadores-omnívoros ($r = 0.43$, $P < 0.05$). Las demás correlaciones no fueron relevantes.

En la parcela definida sombra “uniforme”, se evidenció una correlación significativa, pero débil ($r = 0.30$, $P < 0.05$) entre la cantidad de luz que llega al suelo y el grupo funcional depredadores-omnívoros. Los fitoparásitos y los bacterívoros se correlacionaron con el índice Fit/Libres ($r = 0.76$, $P < 0.01$; $r = 0.30$, $P < 0.05$); mientras fungívoros y depredadores-omnívoros se correlacionaron con el índice F/B ($r = 0.90$, $P < 0.01$; $r = 0.44$, $P < 0.01$) y F/ (F+B) ($r = 0.91$, $P < 0.01$; $r = 0.46$, $P < 0.01$).

En la parcela de sol “uniforme”, aunque no se determinaron correlaciones directas entre la luz y los grupos funcionales de nemátodos, se encontraron correlaciones entre la primera y los tres índices calculados: Fit/Libre ($r = 0.44$, $P < 0.01$); F/B y F/ (F+B) ($r = 0.30$, $P < 0.05$ para ambos).

DISCUSIÓN

En los cafetales, la ausencia y presencia de un dosel arbóreo, así como la heterogeneidad de los árboles de sombra, influyen sobre la cantidad y distribución de la luz, creando un gradiente de sombra. Eso origina que las condiciones microclimáticas sean heterogéneas, lo que puede repercutir en la disponibilidad de nitrógeno al interior de un cafetal (Babbar y Zak, 1994), y tener mucha importancia en el crecimiento y rendimiento del cafeto (Soto *et al.*, 2002).

El estudio describe, la distribución de la luz, principal factor que varía en los cafetales en función del manejo de la sombra, tanto a la altura de los cafetos como a nivel del suelo y la distribución de los grupos funcionales de nemátodos, considerados eficaces indicadores del estado del suelo (Bongers y Ferris, 1999; Neher, 2001).

Los resultados demuestran que tanto a nivel de la altura de los cafetos, como a nivel del suelo la luz es una variable espacialmente dependiente y se distribuye de

manera heterogénea, como se encontró también en otros ecosistemas a nivel del dosel arbóreo y a nivel del suelo (Baldocchi y Collineau, 1994; Breshears *et al.*, 1997). Sin embargo, como se manifestó en la parcela en pleno sol, la distribución de la luz a nivel del suelo puede ser homogénea hasta una escala muy amplia cuando falta un dosel arbóreo, aunque se pueden crear parches con una condición de sombra como la que se encuentra en parcelas caracterizadas por un dosel arbóreo, por la influencia de las plantas de café que sombran el suelo.

En las parcelas de sombra, a la altura de los cafetos, la heterogeneidad es determinada por parches que se diferencian por pequeñas variaciones de luz (incluidas en un intervalo de valores que representan “sombra”) y no se encontraron condiciones de luz extremas, las cuales al contrario se evidenciaron a cerca del suelo. A este nivel, se crearon condiciones de luz muy contrastantes y por tanto se pueden crear microhabitats, iguales a los que se encuentran en un cafetal manejado en pleno sol y viceversa.

Puesto que la variabilidad espacial en general y la heterogeneidad de luz influyen sobre la distribución de factores microclimáticos y edáficos, sobre la distribución de microorganismos del suelo y su biodiversidad (Ettema y Wardle, 2002; Jackson y Caldwell, 1993; Baldocchi y Collineau, 1994; Breshears *et al.*, 1997), consideramos interesante, sobretodo trabajando con organismos o procesos que se verifican en el suelo, la adopción de la metodología de la geoestadística. En un agroecosistema tan diverso como es un cafetal, por lo menos para trabajos que conciernen la ecología del suelo y su fauna, esta metodología, podría dar índices más cercanos a la realidad y permitiría explorar el impacto de condiciones diferentes sin la necesidad de tener a disposición un gran número de repeticiones dentro de un mismo sitio de estudio. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el muestreo y el análisis geoestadístico proporcionan informaciones asociadas al sitio de estudio y a sus características específicas, así que para extrapolar los resultados sería necesario replicar el mismo muestreo geoestadístico en más sitios similares.

Los datos obtenidos demuestran como en el agroecosistema cafetal, la agregación espacial es una característica peculiar también de los grupos funcionales de nemátodos.

Para conocer la distribución espacial de los nemátodos, las técnicas geoestadísticas han sido muy útiles. Inicialmente se utilizaron para estudiar la distribución espacial de los fitoparásitos (Goodell y Ferris, 1981; Noe y Barker, 1984; Webster y Boag, 1992). Posteriormente, se relacionó la distribución espacial de grupos funcionales y géneros de nemátodos a diferentes factores edáficos y microclimáticos (McSorley *et al.*, 1985; Ferris *et al.*, 1990; Robertson y Freckman, 1995; Ettema *et al.*, 1998; Ettema y Yeates, 2003). En la mayoría de estos estudios, se encontró que los nemátodos se distribuyen de manera heterogénea en parches a diferentes escalas (6 - 1200 m). Nuestros resultados son comparables a los de otros estudios, en los cuales ha sido encontrada autocorrelación espacial para los nemátodos y otros microorganismos del suelo, en diferentes ecosistemas (Robertson *et al.*, 1993; Fromm *et al.*, 1993; Gallardo *et al.*, 2000; Jackson y Caldwell, 1993). Ettema y colaboradores (1998) en un humedal encontraron que los bacterívoros estaban autocorrelacionados a una distancia de 67 m y Robertson y Freckman (1995) trabajando en un monocultivo de maíz, encontraron que los grupos funcionales de nemátodos, tenían una dependencia espacial a una escala de 6 - 80 m, a parte los fitoparásitos que no resultaron espacialmente autocorrelacionados hasta los 1200 m. En los cafetales estudiados, la estructuración espacial para todos los diferentes grupos funcionales de nemátodos se refleja a escala menor, entre los 3.6 y 16 m. Aunque eso pueda depender en parte de la escala más chica del diseño experimental utilizado, podría reflejar también una condición de menor disturbio del suelo y de mayor diversidad vegetal y de condiciones microclimáticas del agroecosistema cafetal, respecto a otros ecosistemas. En un monocultivo de maíz y en un humedal, como lo investigados en los trabajos mencionados anteriormente, por un lado se ejecutan labores más intensas y por el otro las condiciones microambientales que se crean son más uniformes, lo que determina la formación de parches de nemátodos más grandes. Se sabe efectivamente que la homogeneidad y las dimensiones promedios de los parches, tanto de factores bióticos como abióticos, aumentan en suelos más estresados o perturbados (Ettema y Wardle, 2002; Robertson y Freckman, 1995; Robertson *et al.*, 1993).

Sin embargo, la respuesta de los nemátodos a las diferentes condiciones de luz que se crean a nivel suelo en las tres parcelas bajo estudio, es muy similar. No hay sustanciales diferencias ni en la distribución, que es agregada, ni en la escala de autocorrelación (dimensiones de los parches), de los diferentes grupos funcionales de nemátodos. No obstante se observó en las parcelas de sol y sombra definidas como “uniforme”, la tendencia de todos los grupos de nemátodos a concentrarse más o menos en la misma zona, en correspondencia de la cual probablemente algunas condiciones microclimáticas (tal vez de temperatura y humedad) son más favorable a su presencia, respecto al resto de la parcela. Al contrario en la parcela de sombra “con claros”, donde se evidenciaron contrastes entre zonas de sol y de sombra, no se evidenció ninguna tendencia a nivel de la comunidad. Esta situación puede ser debida a que la heterogeneidad espacial de la luz, crea heterogeneidad de las condiciones microclimáticas (Balocchi y Collineau, 1994; Breshears *et al.*, 1997), a las cuales cada grupo funcional responde individualmente, concentrándose en una u otra zona.

Así como en otros trabajos (Ettema *et al.*, 1998; Robertson y Freckman, 1995), se encontraron escasas o bajas relaciones entre nemátodos y recursos como la disponibilidad de N, de C y pH, en nuestra investigación encontramos escasas relaciones entre la luz y los nemátodos y la luz y los índices calculados y podría deberse a varias razones. Como planteado en los estudios anteriores, se sabe por ejemplo que cada género/especie perteneciente al mismo grupo funcional responde de modo diferente, a veces de modo opuesto, a una misma variable, así que eso no permitiría percibir las correlaciones con el grupo funcional. Además, la respuesta de géneros diferentes pertenecientes a un mismo grupo funcional, puede diferir según el periodo del año, y unos géneros pueden responder a un mismo recurso, pero en momentos del año diferentes (Ettema *et al.*, 1998). Es así como consideramos importante en un próximo estudio con el mismo enfoque, incluir conjuntamente un análisis de la distribución espacial de los nemátodos hasta nivel de género, y un análisis temporal, tanto para los nemátodos, como para los otros factores bajo estudio, en el cual se ejecuten muestras de suelo, en la misma rejilla o transecto, repetidas a lo largo de un periodo que incluye

tanto la época de secas, como la de lluvias, puesto que eso también podría favorecer una mayor abundancia de nemátodos. En nuestras muestras la abundancia de la nematofauna fue menor respecto a lo que se encontró en otros estudios (Robertson y Freckman, 1995; Ettema y Yeates, 2003; Yeates, 2007), pero comparable a lo que encontraron Pen-Mouratov y Steinberger (2005) y Salguero Londoño (2006) usando el mismo método de extracción.

El análisis de los índices evidenció que en la parcela de sol, más luz, contribuye a aumentar la proporción de los fitoparásitos respecto a los otros grupos funcionales. Zonas de la parcela que recibían más luz, presentaban el índice Fit/libre, más alto, lo que indica que la luz podría aumentar la proporción relativa de fitoparásitos respecto a los otros grupos funcionales. Estos resultados concuerdan con lo que encontraron Pen-Mouratov y Steinberg (2005) y Balmaceda Rodríguez y Cruz Siles (1998). Los primeros estudiaron la abundancia de los diferentes grupos tróficos de nemátodos en un ecosistema desértico en el sur de Israel, y encontraron que los nemátodos fitoparásitos en condiciones de alta temperatura y escasa humedad, como las del ecosistema estudiado por estos investigadores, eran el grupo más abundantes representando más del 50 % de la comunidad. Los segundos, comparando la nematofauna en cafetales manejados en presencia de sombra y en pleno sol, determinaron una mayor abundancia de fitoparásitos en estos últimos.

Es así como se considera que las plantas de café cultivadas en pleno sol, se podrían encontrar más expuestas al daño por nemátodos y por otras enfermedades favorecidas de este tipo de manejo y de la presencia de fitoparásitos, como puede ser el “Mal de Viñas”, como averiguaron Morales y colaboradores (1996).

En la parcela bajo estudio manejada en pleno sol, se evidenció también una relación positiva entre la luz y el índice F/B. Eso indica que en presencia de luz en el suelo hay una mayor abundancia relativa de fungívoros respecto a bacterívoros (F/B). Pen-Mouratov y Steinberg (2005), encontraron que en presencia de altas temperaturas y baja humedad, los fungívoros son más abundantes de los bacterívoros y representan el segundo grupo trófico de nemátodos en términos de abundancia. Eso podría explicar en

parte el alto índice F/B encontrado en el cafetal bajo sol. Una mayor proporción de fungívoros respecto a bacterívoros, se establece cuando en el suelo se acumula materia orgánica no labil, caracterizada por un alta relación C/N. Estudios en cafetales (Babbar y ZaK, 1994) han demostrado como la disponibilidad de N es menor y su perdida por lixiviación mayor, cuando el cultivo es manejado en pleno sol. Es así como esto podría tender a aumentar en el suelo la relación C/N. Por lo anterior y dado que los fungívoros están asociados con un ciclo de degradación de la materia orgánica más lento, (Ferris y Matute, 2003; Diemont y Martin, 2005; Neher *et al.*, 2005), las relaciones encontradas sugieren que en presencia de luz es posible que se manifieste una tendencia a que la mineralización de la materia orgánica sea más lenta, y como consecuencia que la disponibilidad de nutrientes prontamente utilizables será menor. Se reconoce que en presencia de más luz y entonces de más calor la descomposición de la materia orgánica es mayor no obstante, en el mismo tiempo se sabe que condiciones micro climáticas mas extremas, inhiben o reducen la actividad de los microorganismos (Pet-Mouratov y Steinberg, 2005; Steinberg y Sarig, 1993) en los procesos de degradación de la materia orgánica.

CONCLUSIÓN

La luz y los grupos funcionales de nemátodos exhiben autocorrelación espacial en el agroecosistema cafetal, pero a diferentes escalas. La luz a nivel del suelo, en cafetales bajo dosel arbóreo, no es “todo sombra” y en cafetales bajo sol, no es “todo sol”, sino una mezcla de parches de sombra y sol. El diferente manejo de la sombra, en términos de cantidad y distribución de la luz, no tiene influencia sobre la distribución de los grupos funcionales de nemátodos, ni sobre su escala de autocorrelación, sin embargo, parece influir en las relaciones que se establecen entre ellos. En la parcela de sol “uniforme”, los valores más altos, de los índices Fit/libre y F/B, se encontraron asociados a valores más altos de luz, indicando un aumento de la proporción relativa de fitoparásitos respecto a los otros grupos funcionales, y un aumento de la proporción relativa de fungívoros respecto a bacterívoros. Esta tendencia por un lado, volvería las

plantas de café cultivadas en pleno sol, más expuestas al daño por estos nemátodos y por el otro podría volver más lento el proceso de degradación de la materia orgánica, asociándose los fungívoros a una mineralización lenta. Un estudio controlado de laboratorio podría ser útil para confirmar estos resultados.

Consideramos que los resultados ofrecen indicaciones para afinar las preguntas de investigación y la metodología, en estudios similares o sucesivos, enfocados en el uso del análisis espacial como instrumento para incluir el efecto de la variabilidad ambiental en estudios de campo.

LITERATURA CITADA

- Anderson M.C. 1964. Studies of the woodland light climate. The photographic computation of light conditions. *J. Ecol.* 52: 27-41.
- A T Delta -T Devices (<http://www.delta-t.co.uk>).
- Aranda J. 2004. El sistema campesino indigena de produccion de café. La Jornada Ecologica.<http://www.jornada.unam.mx/2004/ago04/040830/eco-c.html>.
- Babbar L.I. y D.R. Zak 1994. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 48: 107-113.
- Baldocchi D. y S. Collineau 1994. The physical nature of solar radiation in heterogeneous canopies: spatial and temporal attributes. In: Caldwell M.M., R.W. Pearcy (Eds), *Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants - Ecophysiological Processes Above - and Belowground.* Academic Press, San Diego, p. 21-62.
- Balmaceda Rodriguez M., S. Cruz Siles 1998. Comportamiento de nemátodos fitoparásitos asociados a diferentes sistemas de manejo de café, Masatepe, Masaya. Tesis de Licenciatura, Universidad Centroamericana, Facultad de Ciencia Agropecuaria Carrera de Ecología y Recursos Naturales. p. 67.
- Barradas V.L. y L. Fanajul 1984. La importancia de la cobertura arborea en la temperatura del agroecosistema cafetalero. *Biotica*, 9 (4): 415-421.
- Beer J. 1987. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. *Agroforestry Systems.* 5: 3-13.
- Beer J., R. Muschler, D. Kass, E. Somarriba 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agroforestry Systems.* 38: 139-164.
- Bongers T. y H. Ferris 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Tree.* 14, 6: 224-228.
- Boone R.D., D.F. Gringal, P. Sollins, R.J. Ahrens, D.E. Armstrong 1999. Soil sampling, preparation, archiving and quality control. In: Robertson GP, Coleman DC, Bledsoe CS, Sollis P (Edts) *Standard soil methods for long term ecological research.* Oxford University Press. 3-29 pp.

- Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Agron. J.* 43: 434-438.
- Breshears D.D., P.M. Rich, J.F. Barnes, K. Campbell 1997. Overstory-imposed heterogeneity in solar radiation and soil moisture in a semiarid woodland. *Ecological Applications*. 7(4): 1201-1215
- De Grisse A.T. 1969. Redescription ou modifications de quelques techniques utilisées dans l'étude des nematodes phytoparasitaires. *Meded. Rijksfakulteit Landbouwwetenschappen Gent*. 34: 351-369.
- Diemont S.A.W. y J.F. Martin 2005. Management impacts on the trophic diversity of nematode communities in an indigenous agroforestry system of Chiapas, Mexico. *Pedobiologia*. 49: 325-334.
- Edwards C.A. 1991. Methods for assessing populations of soil-inhabiting invertebrates. In: D.A. Crossely, D.C. Coleman, P.F. Hendrix, W. Cheng y C.A. Edwards (Eds), *Modern Techniques on Soil Ecology*. Elsevier, New York, p. 145-176.
- Ettema H.C., D.C. Coleman, G. Vellidis, R. Lowrance, S.L. Rathbun 1998. Spatiotemporal distributions of bacterivorous nematodes and soil resources in a restored riparian wetland. *Ecology*. 79 (8): 2721-2734.
- Ettema H.C. y A.D. Wardle 2002. Spatial soil ecology. *Trend in Ecology & Evolution*. Vol.17 No. 4: 177-183.
- Ettema C.H., G.W. Yeates 2003. Nested spatial biodiversity of nematode genera in a New Zealand forest and pasture soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 35: 339-342.
- Ferraz L.C.C.B. y D.J.F Brown 2002. Bio-ecology. In: Ferraz, L.C.C.B. (ed.), *An Introduction to Nematodes: Plant nematology*, Pensoft Publishers, Sofia, Bulgaria, p. 127-141.
- Ferris H., T.A. Mullens, K.E. Foord 1990. Stability and Characteristics of Spatial Description Parameters for Nematode Populations. *Journal of Nematology*. 22(4): 427-439.
- Ferris H. y M.M. Matute 2003. Structural and functional succession in the nematode fauna of a soil food web. *Applied Soil Ecology*. 23: 93-110.

- Fournier L.A. 1988. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. *Agronomía Costarricense*. 12(1): 131-146.
- Freckman D.W. y C.H. Ettema 1993. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 45: 239-261.
- Fromm H., K. Winter, J. Filser, R. Hantschel, F. Beese 1993. The influence of soil type and cultivation system on the spatial distributions of the soil fauna and microorganisms and their interactions. *Geoderma*. 60: 109-118.
- Gallardo A., J. J. Rodríguez-Saucedo, F. Covelo, R. Fernández-Alés 2000. Soil nitrogen heterogeneity in a Dehesa ecosystem. *Plant and Soil*. 1, 222: 71-82.
- Goodell P., H. Ferris 1981. Plant-parasite nematode distributions in an alfalfa field. *Journal of Nematology*. 12: 136-141.
- Greenberg R., P. Bichier, A. Cruz-Angón, Ch. MacVean, R. Pérez E. Cano 2000. The impact of avian insectivory on arthropods and leaf damage in some Guatemalan coffee plantations. *Ecology*. 81(6): 1750-1755.
- Hue N.V., M. Serracin, D. P. Schmitt, H. C. Bittenbender 2004. Nutrient and Nematode Status of Coffee Soils from Orchards in Hawaii. *Communications in soil science and planta analysis*. Vol. 35, 13 y 14: 2023-2036.
- Ibarra- Núñez G. 1990. Los artropodos asociados a cafetos en un cafetal mixto del Soconusco, Chiapas, Mexico, variedad y abundancia. *Folia Entomologica Mexicana*. 79: 207-231.
- Isaaks E.H., R.M. Srivastava 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, New York, New York, USA.
- INEGI 1998. Base de datos geograficos, diccionario de datos edafologicos escala 1:1 000 000 vectorial.
- INEGI 2005. Resultados Definitivos, Chiapas Censo General de Población y Vivienda 2005.
- Jackson R. B. y M. M. Caldwell 1993. Geostatistical patterns of soil heterogeneity around individual perennial plants. *Journal of Ecology*. 81: 683-692.

- Komar O. y C.E. Escobar 2005. A bibliography of coffee plantation biodiversity. *Mesoamericana*. 9: 26-39.
- McSorley R. y E.E. Welter 1991. Comparisons of soil extraction methods for nematodes and micro-arthropods. In: D.A. Crossely, D.C. Coleman, P.F. Hendrix, W. Cheng y C.A. Edwards (Eds), *Modern Techniques on Soil Ecology*, Elsevier, New York. p. 201-208.
- Moens M. 1993. Selected techniques used in Nematology and related exercises. *International Nematology Course*, University of Gent.
- Moore J.C. 1994. Impact of agricultural practices on soil food web structure: theory and application. *Agriculture. Ecosystem Environment*. 51: 239-247.
- Morales H., M. Palmieri, M. W. Dix 1996. Mal de Viñas del café: ¿biótico o abiótico? *Ceiba*. 37 (2): 281-290.
- Neher D.A. y Campbell C. L. 1994. Nematode communities and microbial biomass in soil with annual and perennial crops. *Applied Soil ecology*. 1: 17-28.
- Neher D., 2001. Nematode communities in organically and conventionally managed agricultural soils. *Journal of Nematology*. 31, 42-154.
- Neher DA., J. Wu, M.E. Barbercheck, O. Anas 2005. Ecosystem type effects interpretation of soil nematode community measures. *Applied Soil Ecology*. 30: 47-64.
- Noe J.P., K.L. Barker, 1984. Relationship of within-field spatial variation of plant-parasite nematodes population densities and edaphic factors. *Phytopatology*. 75: 247-252.
- Niblack T.L. 1989. Applications of nematode community structure research to agricultural production and habitat disturbance. *J. Nematol.* 21 (4): 437-443.
- Norton D.C. y T.L. Niblack 1991. *Biology and Ecology of Nematodes*. In: Nickle W.R. Ed. *Manual of Agricultural Nematology*, Marcel Dekker, New York: p. 25.
- Padien D.J., y K. Lajtha 1992. Plant spatial pattern and nutrient distribution in pinyon-juniper woodlands along an elevational gradient in northern New Mexico. *International Journal of Plant Science*. 153: 425-433.

- Pen-Mouratov S., Y. Stenberger 2005. Spatio-temporal dynamic heterogeneity of nematode abundance in a desert ecosystem. *Journal of Nematology*. (37) 1, 26 - 36.
- Perez Luna Y. del C. 2001. Depositación y biodegradación de hojarasca en cafetales bajo manejo orgánico en Chiapas, México. Tesis de Maestría. El Colegio de la Frontera Sur.
- Perfecto I., R.A. Rice, R. Greenberg, M. Van der Voort 1996. Shade coffee: A disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*. Vol.46. No. 8: 598 - 608.
- Perfecto I. y J. Vandermeer 2002. Cafeticultura y biodiversidad: cafetales como reservas de biodiversidad y biodiversidad como benefactora de la caficultura. In: Pohlen A.J. México y la cafeticultura chiapaneca, reflexiones y alternativas para los caficultores Shaker Verlag, Aachen. p. 75-86.
- Perfecto I., J. H. Vandermeer, G. López-Bautista, G. Ibarra-Núñez, R. Greenberg, P. Bichier, S. Langridge 2004. Greater predation in shaded coffee farms: the role of resident neotropical birds. *Ecology*. 85(10): 2677-2681.
- Petersen R.G., L.D. Calvin 1986. Sampling. In: Klute A, SSSA Book Series 5, Methods of soil Analysis Part 1 - Physical and Mineralogical Methods. American Society of Agronomy Inc, Soil Society of American Inc, Publisher Madison, Wisconsin USA. 25-45 pp.
- Ramos-Suarez M.P., H. Morales, L. Ruiz-Montoya, L. Soto-Pinto, P. Rojas-Fernandez 2001. ¿Se mantiene la diversidad de hormigas con el cambio de bosque mesófilo a cafetales? Acta del Simposio Café y Biodiversidad, San Salvador.
- Ritz K. y D.L. Trudgill 1999. Utility of nematode community analysis as an integrated measure of the functional state of soils: perspectives and challenges. *Plant and Soil*. 212: 1-11.
- Robertson G.P., J.R. Crum, B.G. Ellis 1993. The spatial variability of soil resources following long-term disturbance. *Oecologia*. 96: 451-456.
- Robertson G.P. y D.W. Freckman 1995. The spatial distribution of nematode trophic groups across a cultivated ecosystem. *Ecology*. 76: 1425-1432.

- Salguero Londoño B.M., 2006. Caracterización de nemátodos de vida libre como bioindicadores de calidad y salud de suelos bananeros en Costa Rica. Tesis de Maestría. Escuela de posgrado Programa de educación para el desarrollo y la conservación del Centro Agrícola Tropical de Investigación y Enseñanza. 95 pp.
- Schlesinger W.H., J.F. Reynolds, G.L. Cunningham, L.F. Huenneke, W.M. Jarrell, R. A. Virginia, W.G. Whitford 1990. Biological feedbacks in global desertification. *Science*. 247:1043-1048.
- Soto-Pinto L., I. Perfecto, J. Castillo, J. Caballero-Nieto 2000. Shade effect on coffee production at the northern Tzeltal zone of the state of Chiapas, Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 80: 61-69.
- Soto M. L. 2000. Estudio agroecológico del sistema de café con sombra en comunidades indígenas de Chiapas, Mexico. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 171 p.
- Soto-Pinto L, I. Perfecto, J. Caballero-Nieto 2002. Shade over coffee: Its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*. 55: 37-45.
- Steinberger Y., S. Sarig 1993. Responses by soil nematode populations in the soil microbial biomass to a rain episode in the hot, dry Negev Desert. *Biology and Fertility of Soils* 16: 188-192.
- Tejeda-Cruz C. y W.J. Sutherland 2004. Bird responses to shade coffee production. *Animal Conservation*. 7: 1-11.
- Webster R., B. Boag 1992. Geostatistical analysis of cyst nematodes in soil. *J. Soil Sci.* 43: 583-595.
- Yardim E.N. y C.A. Edwards 1998. The effects of chemical pest, disease and weed management practices on the trophic structure of nematodes populations in tomato agroecosystems. *Applied Soil Ecology*. 7: 137-147.
- Yeates G.W. 1979. Soil nematodes in terrestrial ecosystems. *J. Nematol.* 11 (3): 213-228.

- Yeates G.W., T. Bongers, R.G.M. De Goede, D.W. Freckman, S. Georgievas 1993. Feeding Habits in Soil Nematode Families and Genera: an Outline for Soil Ecologists. *Journal of Nematology*. 25 (3): 315-331.
- Yeates G.W., 2007. Abundance, diversity, and resilience of nematode assemblages in forest soils¹. *Canadian Journal of Forest Research*. 37, 2: 216 - 225.
- Yepez P.C. 1997. Evaluacion de la sustentabilidad del cafetal bajo manejo organico, mediante balance de nutrients en la Union Majomut, Chiapas. Tesis de licenciatura. Universidad Autonoma de Chapingo. Chapingo, Mexico. 136 p.

ANEXO 1 - CUADROS

Cuadro 1. Características generales de los cafetales de estudio.

Parcela	Tipo manejo	N°ptasm/parc	Variedad cafe		Edad cafe
			Bourbon%	Caturra%	años *
Parcela 1	Sol	38	87	13	7
Parcela 2	Sombra	33	58	42	8
Parcela 3	Sombra	36	100	xxx	10

Parcela	Altitud (m)*	Pendiente (%)*	Coordenadas		
			N	W	Orientacion
Parcela 1	1553	39	16°57'673	92°46'275	NE
Parcela 2	1287	44	16°58'030	92°45'287	SW
Parcela 3	1149	22	16°58'699	92°46'233	SW

* = Valores promedios

N°ptasm/parc= numero plantas muestreadas por parcela

Cuadro 2. Promedio (± 1 D.E.) y coeficiente de variación (CV en %) de la luz que llega al suelo, los nemátodos y textura del suelo.

Variable	Parcela 1 - Sol "Uniforme"	Parcela 2 - Sombra "Uniforme"	Parcela 3 - Sombra "con claros"
Luz rejilla 2 m	XXX	0.63 (0.16) – 26%	0.82 (0.14) – 17%
Luz rejilla 1 m	0.94 (0.08) – 8%	0.32 (0.17) – 52%	0.47 (0.25) – 53%
Luz plantas 1 m	0.80 (0.18) – 22%	0.23 (0.14) – 58%	0.39 (0.24) – 62%
Fitoparasitos	7.0 (9.3) – 133%	36.9 (35.3) – 96%	5.2 (4.4) – 85%
Bacterivoros	5.2 (7.7) – 147%	171.5 (214.1) – 125%	5.5 (4.3) – 80%
Fungivoros	4.7 (4.6) – 105%	20.2 (16.0) 79%	2.0 (0.0) – 0.0%
Depred/Omnivo	2.0 (2.0) – 99%	16.8 (38.4) – 229%	1.6 (1.9) – 115%
Textura (% Arcilla-Arena-Limo)	F arc (24.9 - 37.1 - 38.0)	F arc (36.9 - 37.1 - 26.0)	Arc (18.9 - 41.1 - 40.0)

Unidad de medida de la luz: $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^{-1}$

Unidad de medida nemátodos: abundancia absoluta/ 100g de suelo

Cuadro 3. Análisis de variogramas y modelos utilizados para las variables luz, en las parcelas de café bajo estudio.

Variables	Parcela 1 - Sol "uniforme"				Parcela 2 - Sombra "uniforme"				Parcela 3 - Sombra "con claros"			
	Modelo	C/(C+Co)	Parche (m)	r ²	Modelo	C/(C+Co)	Parche (m)	r ²	Modelo	C/(C+Co)	Parche (m)	r ²
Luz rejilla 2 m	xxx	xxx	xxx	xxx	Esferico	0.99	17.4	0.99	Esponencial	0.92	7.0	0.99
Luz rejilla 1 m	Esferico	0.65	54.3	0.68	Esferico	0.94	10.0	0.99	Esferico	0.99	13.4	0.60
Luz plantas 1 m	Esferico	1.00	6.4	0.79	Esferico	0.99	9.2	0.86	Esferico	0.97	4.9	0.43
Fitoparasitos	Esferico	1.00	16.0	0.90	Esferico	0.99	4.3	0.67	Esferico	0.94	4.3	0.45
Bacterivoros	Esferico	0.96	9.6	0.45	Esferico	1.00	6.0	0.88	Esferico	0.89	3.6	0.23
Fungivoros	Esferico	0.50	12.0	0.44	Esferico	1.00	4.6	0.70	Esferico	<i>No se realizó el variograma*</i>		
Depred/Omnivo	Esferico	1.00	7.8	0.84	Esferico	0.99	12.0	0.70	Esferico	1.00	4.0	0.67

C / (C+Co): Porcentaje de la varianza de los datos que tienen una estructura especial.

* En esta parcela, no se pudo realizar el análisis de variogramas, por escasa abundancia de nemátodos fungívoros.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Pearson para la variable luz y los grupos funcionales de nemátodos. Únicamente se incluyen las variables estadísticamente significativas (* = P<0.05; ** = P<0.01). En negritas las variables donde el modelo de regresión también fue significativo.

		Coeficientes de correlación								
Variables		Luz plantas	Fitoparasitos	Bacterivoros	Fungivoros	Depre-Omni	F/B	F/(F+B)	Fi/Libres	
Parcela 1	Sol "uniforme"	Luz plantas	1.00	0.37	0.11	0.25	0.18	0.30*	0.30*	0.44**
		Fitoparasitos		1.00	0.62**	0.62**	0.43**	0.21	0.22	0.90**
		Bacterivoros			1.00	0.52**	0.38**	-0.12	0.00	0.50**
		Fungivoros				1.00	0.31*	7.00	0.75**	0.43**
		Depre-Omni					1.00	0.04	0.04	0.22
Parcela 2	Sombra "uniforme"	Luz plantas	1.00	0.06	-0.10	0.06	0.30*	0.11	0.11	-0.20
		Fitoparasitos		1.00	0.60*	0.36*	0.50**	0.26	0.27	0.76**
		Bacterivoros			1.00	0.52**	0.55**	0.28	0.32*	0.30*
		Fungivoros				1.00	0.54**	0.90**	0.91**	0.01
		Depre-Omni					1.00	0.44**	0.46**	0.05
Parcela 3	Sombra "con claros"	Luz plantas	1.00	0.11	0.11	-0.08	0.43*	-0.09	-0.09	-0.13
		Fitoparasitos		1.00	0.45*	0.32*	0.26	0.32*	0.32*	0.70*
		Bacterivoros			1.00	0.31	0.13	0.31	0.31	-0.05
		Fungivoros				1.00	-0.02	xxx	xxx	xxx
		Depre-Omni					1.00	-0.02	-0.02	-0.16

XXX= para la escasez de fungívoros en esta parcela no fue posible definir las correlaciones con los índices.

ANEXO 2 - FIGURAS

UBICACION DEL MUNICIPIO DE EL BOSQUE, CHIAPAS.

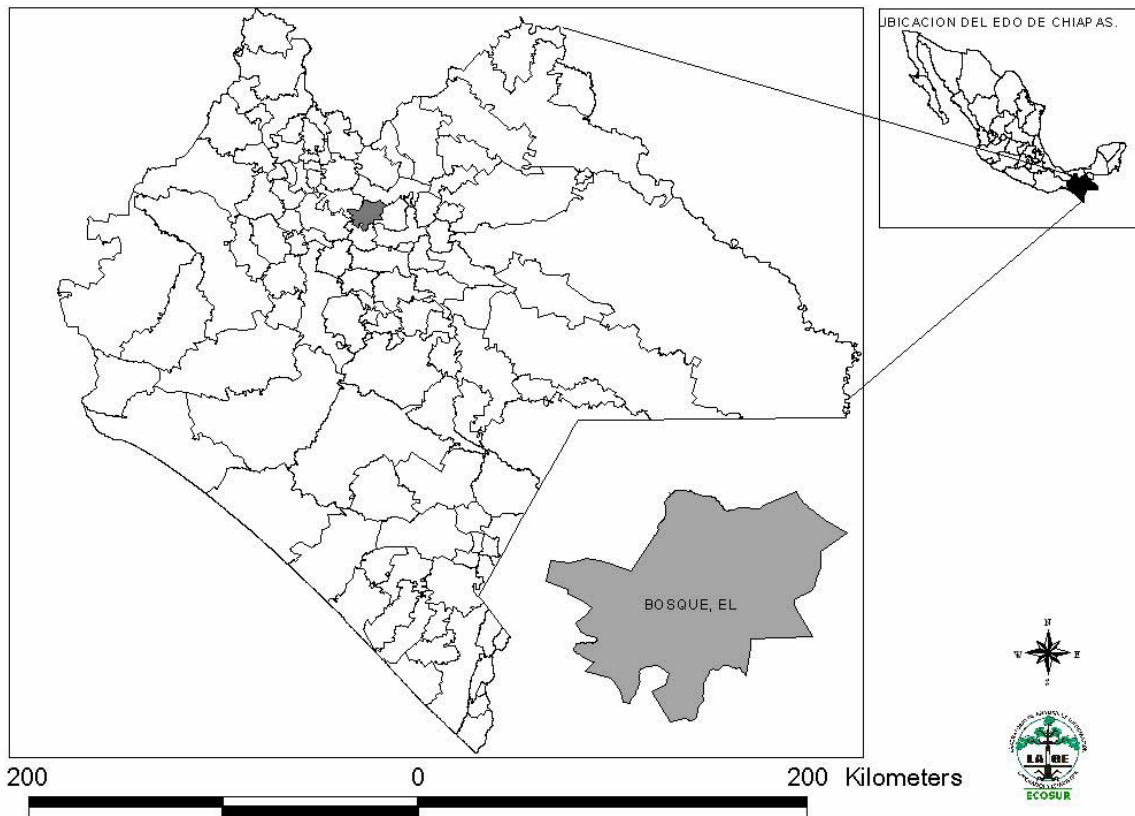


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio.

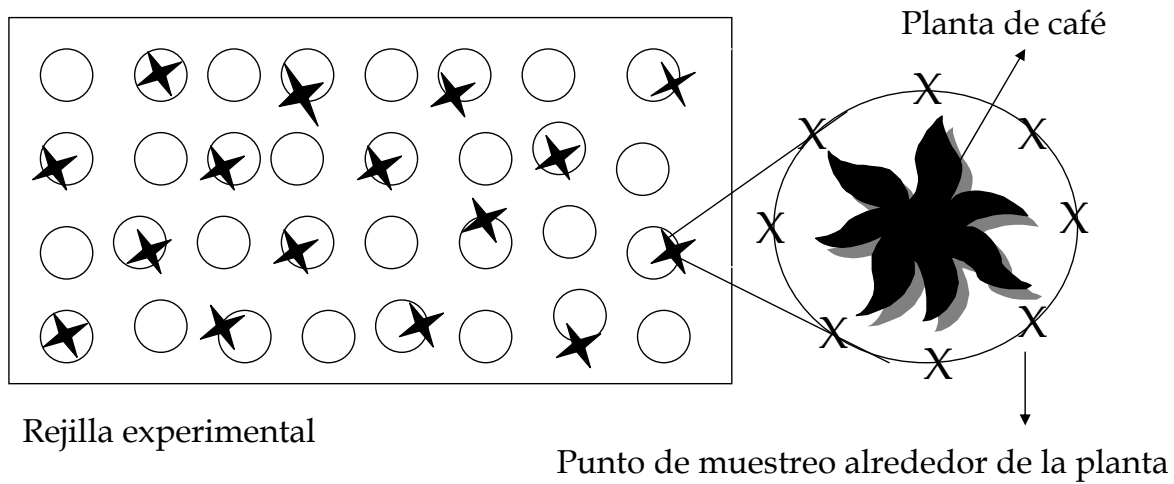


Figura 2. Modalidad de muestreo alrededor de las plantas de café.

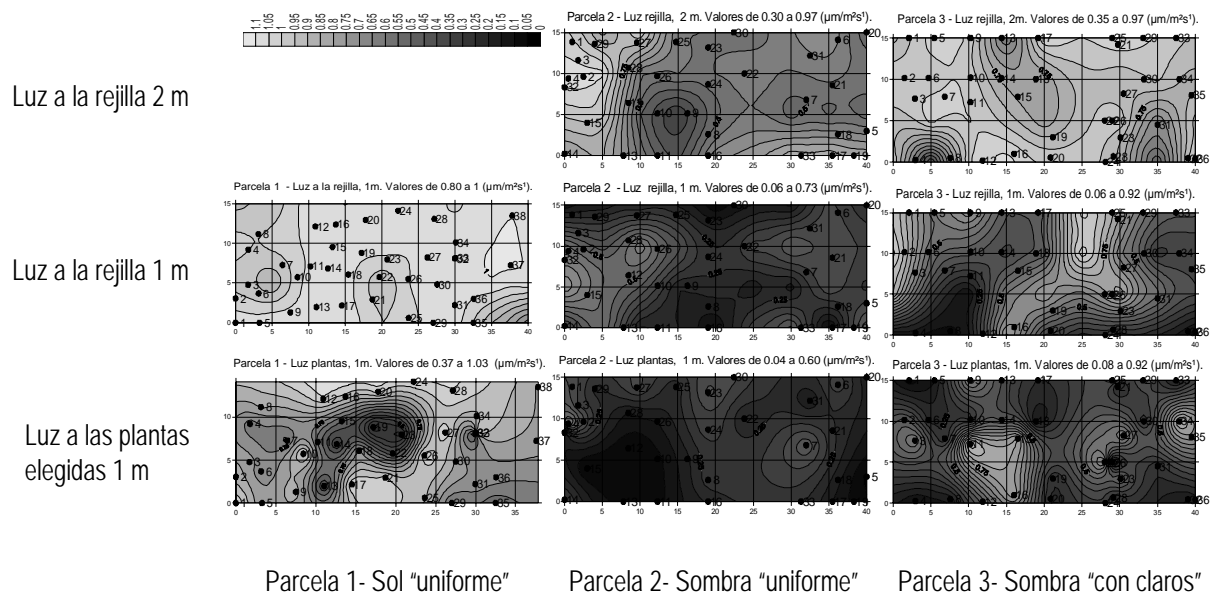


Figura 3. Mapas de contorno por parcela, de la luz que llega al suelo.

La unidad de medida de la luz se expresa en $\mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$.

Los círculos negros representan las plantas elegidas.

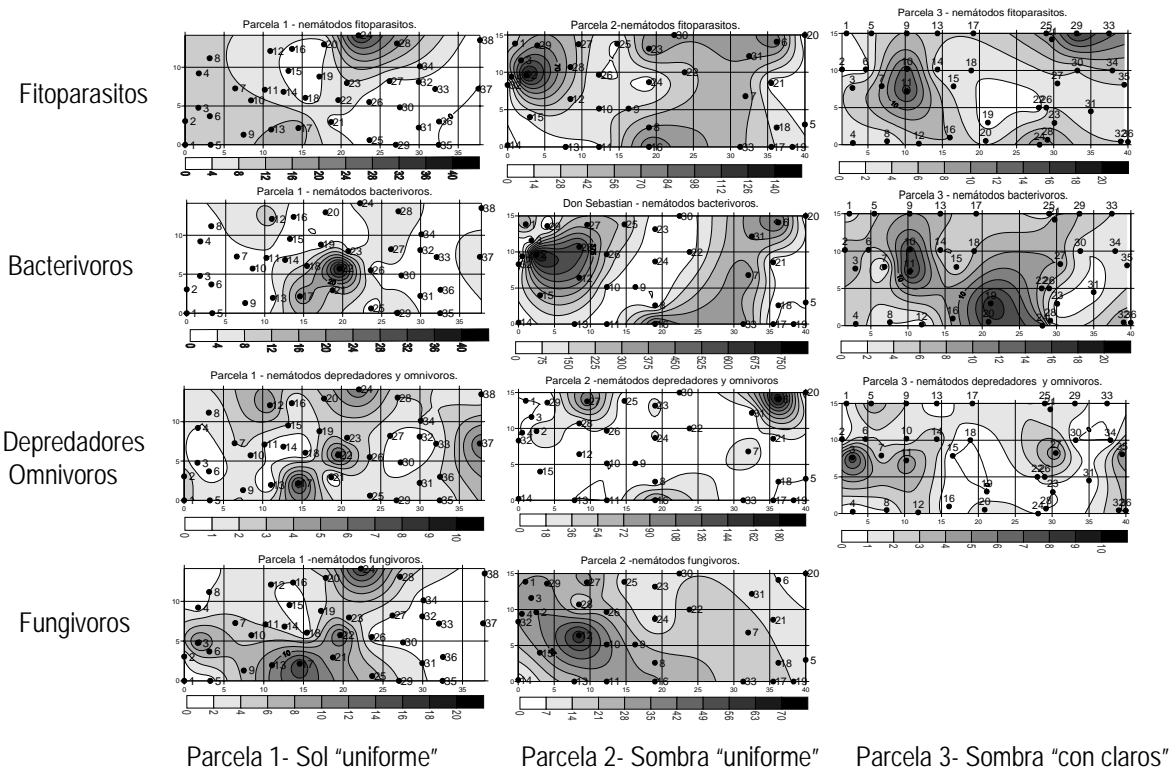


Figura 4. Mapas de contorno por parcela, de los grupos funcionales de nemátodos. No se pudo realizar el mapa relativo a los nemátodos fungivoros a causa de su escasa abundancia. La unidad de medida de los nemátodos es dada de la abundancia absoluta/ 100 gr de suelo.

ANEXO 3 – Artículo Sometido a la Revista *Interciencia*

Distribución espacial de luz y grupos funcionales de nemátodos en cafetales caracterizados por diferente manejo de la sombra

Simona Landi¹, Helda Morales¹, Jorge Castellanos¹, Stewart Diemont², Bruce G. Ferguson¹

¹El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Apartado Postal 63, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas 29200, México.

slandi@ecosur.mx; hmorales@ecosur.mx; jcastell@ecosur.mx. bgfecosur@gmail.com;

²Department of Environmental Resources and Forest Engineering, State University of New York – College of Environmental Science and Forestry, 402 Baker Lab, 1 Forestry Drive, Syracuse, New York 13210.

sdiemont@gmail.com

Simona Landi, estudiante de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural, ECOSUR.

Helda Morales, Ph.D. en Ecología, Universidad de Michigan, Ann Arbor, EEUU. Profesora Investigadora, ECOSUR.

Jorge Castellanos Albores. Biólogo, Universidad Autónoma Metropolitana (UAM-X). Maestría en Ciencias (Ecología y Ciencias Ambientales), Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Candidato a Doctor en Ciencias Biológicas por el Instituto de Ecología, UNAM. Investigador de ECOSUR.

Stewart Diemont PhD en Ingeniería Ecológica, Universidad Estatal de Ohio, EE.UU. Profesor de ingeniería ecológica en la Universidad Estatal de Nueva York, El Colegio de Ciencias Ambientales y Forestales, EE.UU.

Bruce Ferguson, Ph.D. en Ecología, Universidad de Michigan, Ann Arbor, EEUU. Profesor investigador, ECOSUR.

Resumen

No obstante que numerosos estudios científicos han demostrado que los árboles de sombra de los cafetales aumentan la biodiversidad y mejoran el ciclaje de

nutrimentos y el control del microclima del agroecosistema, ante la recién inestabilidad de los precios del café, muchos productores han decidido tumbar la sombra para obtener mayores rendimientos. Los organismos edáficos en general, han sido poco estudiados en este sistema. Los nemátodos son buenos indicadores de las condiciones de salud del suelo, que podría estar deteriorada en los cafetales al sol. El objetivo de esta investigación, utilizando un análisis estadístico descriptivo y geoestadístico, fue estudiar el impacto de la ausencia, presencia y heterogeneidad de los árboles de sombra sobre los grupos funcionales de nemátodos, en tres fincas con diferente manejo de la sombra. Se encontró que la luz y los nemátodos tienen una distribución espacialmente dependiente y se distribuyen de manera heterogénea. La distribución de los grupos funcionales de nemátodos, y su escala de autocorrelación, no cambiaron aunque cambió el manejo de la sombra. Sin embargo, en el cafetal cultivado bajo sol, se encontraron correlaciones entre la luz y los índices fitoparásitos/nemátodos de vida libre ($r = 0.44$, $P < 0.01$); fungívoros/bacterívoros y fungívoros/(fungívoros+bacterívoros) ($r = 0.30$, $P < 0.05$ para ambos), Estos resultados indican que la luz aumenta la proporción de fitoparásitos respecto a los otros grupos, y la proporción de fungívoros respecto a la de bacterívoros. Sugieren que en los cafetales en pleno sol, por un lado las plantas de café están más expuestas al daño por estos nemátodos y por el otro que el proceso de degradación de la materia orgánica podría volverse más lento.

Palabras claves: Agroecosistema café, sombra, bacterívoros, fungívoros, fitoparásitos, heterogeneidad.

Introducción

Estudios recientes han demostrado como los árboles de sombra en los cafetales, contribuyen a la conservación de la biodiversidad (Perfecto *et al*, 1996), ayudan al mantenimiento del ciclaje de nutrimentos y reducen los cambios extremos en el microclima del agroecosistema (Komar y Escobar, 2005; Ramos-Suárez *et al*, 2001; Yépez, 1997; Perfecto *et al*, 1996; Barradas y Fanjul, 1984;).

Al mismo tiempo se ha demostrado como la diversidad misma de organismos asociados beneficia a los cafetales, por ejemplo controlando las poblaciones de insectos herbívoros y evitando que se conviertan en plagas (Perfecto *et al.* 2004; Tejeda-Cruz y Sutherland, 2004; Perfecto y Vandermeer, 2002a; Ibarra- Núñez, 1990). Sin embargo, poco se sabe del impacto de la presencia o ausencia de los árboles de sombra en cafetales, sobre los organismos edáficos y en particular los nemátodos (Balmaceda Rodríguez y Cruz Siles, 1998).

En el estado de Chiapas, México, aunque la mayor parte de los cafetales están manejados bajo árboles de sombra, se encuentran también productores que cultivan el café en pleno sol. Estos agricultores, venden su producto en el mercado local o nacional y enfocan su producción en la cantidad. Este tipo de manejo permite una producción entre 10 y 20% mayor, de la que se obtiene en cafetales dotados de un dosel arbóreo (Fournier, 1988). No obstante todas las ventajas que la presencia de los árboles de sombra puede proporcionar, ante la inestabilidad de los precios del café en los últimos diez años, muchos productores han decidido tumbar la sombra o han preferido el manejo del café en pleno sol.

Todos los trabajos que comparan el impacto de la sombra con la ausencia de la misma en el agroecosistema café, han comparando cafetales manejados en pleno sol y cafetales manejados en presencia de sombra. Sin embargo, en campo se notó que a causa de la heterogeneidad del dosel arbóreo, se pueden presentar en un cafetal con sombra, zonas con una vegetación arbórea más uniforme y zonas donde esta falta o es menos uniforme. Eso, junto con la presencia de las plantas de café, crea parches de sombra y de sol a nivel del suelo, los cuales a su vez pueden modificar la distribución espacial de los nemátodos; puesto que la heterogeneidad espacial del hábitat tiene relación con la distribución de los organismos del suelo (Ettema y Wardle, 2002). Es así como se consideró, que en estas condiciones de heterogeneidad, posiblemente el “método” común de sacar muestras de suelo en una parcela para formar una muestra representativa de una condición dada (“sol” por ejemplo), para luego compararlas con las de parcelas que se encuentran en otra condición opuesta (“sombra” por ejemplo)

(Petersen y Calvin, 1986; Boone *et al.*, 1999), podía no ser adecuada para evaluar el impacto de la luz sobre los nemátodos, dado que se habría mezclado suelo expuesto a la luz y suelo expuesto a zonas de sombra. Por lo anterior se decidió explorar la metodología de la geoestadística, que toma en cuenta la variabilidad ambiental y el problema de autocorrelación de los datos (Rossi *et al.*, 1992).

Se espera de este modo, que el diseño espacial de las condiciones de luz, que se crea en cafetales caracterizados por un manejo diferente de la sombra, podría reflejarse en la distribución de las poblaciones de nemátodos y en las relaciones entre ellos, representadas por los índices F/B (fungívoros/bacterívoros) y Fit/Libre (fitoparásitos/nemátodos de vida libre), siendo la nematofauna por un lado un buen indicador del estado del suelo e importante en los procesos de degradación de la materia orgánica (bacterívoros y fungívoros) y por otro lado un posible problema para la planta de café (fitoparásitos) (Norton y Niblack, 1991; Ritz y Trudgill, 1999; Neher, 2001). Los índices, dan indicaciones sobre la respuesta de los nemátodos a la disponibilidad de materia orgánica en el suelo y a los procesos de degradación y mineralización en curso (Moor, 1994). Considerando que los fitoparásitos se pueden convertir en plaga cuando su población aumenta o cuando la relación con los grupos que los controlan (omnívoros y depredadores) se desestabiliza, el índice Fit/libre resulta muy útil para investigar, si la luz favorece la presencia de fitoparásitos respecto a los nemátodos de vida libre.

Se espera que los fitoparásitos sean favorecidos en presencia de luz al estar las plantas de café más estresadas. Además, se considera que en cafetales en pleno sol las condiciones microclimáticas más extremas no sean ideales para los microorganismos implicados en los procesos de degradación y mineralización de la materia orgánica, lo que favorece una relación C/N más alta, condición en la cual predomina la actividad de los nemátodos fungívoros.

El objetivo de este estudio es, analizar la variabilidad espacial de la luz, a la altura de los cafetos y a nivel del suelo, en tres cafetales caracterizados por un diferente manejo de la sombra; analizar la variabilidad espacial de grupos tróficos de nemátodos;

determinar las correlaciones existentes entre estas dos variables y correlacionar los índices Fit/Libre, F/B y F/ (F+B) con las medidas de luz.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en la comunidad de San Cayetano, perteneciente al municipio de El Bosque, en el Estado de Chiapas, México (Fig. 1). La localidad está ubicada a 16°57'47" N y 92°45'33" W, a un altitud de 1500 msnm. Los suelos dominantes se clasifican como nitosoles (a), andosoles (a), y litosoles (c). Respectivamente, se caracterizan por ser: (a) oscuros y muy ligeros con alto contenido de ceniza y materiales de origen volcánico; (b) suelos brillantes, profundos y muy arcillosos en todo el perfil, típicos de zonas muy lluviosas; (c) suelos muy delgados con menos de 10 cm de espesor (INEGI, 1998).

La investigación se llevó a cabo en 3 cafetales: un cafetal en pleno sol (parcela 1 - definida como sol "uniforme"), y dos cafetales con sombra de *Inga* spp, uno con sombra uniforme (parcela 2 - definida sucesivamente como sombra "uniforme") y uno caracterizado por tener sombra con claros (parcela 3 - definida sucesivamente como sombra "con claros").

Diseño experimental y recolecta datos

El trabajo de campo se desarrolló entre marzo y mayo del año 2007, periodo correspondiente a la época secas

En cada cafetal se delimitó una parcela de 40 m x 15 m y se marcó una cuadrícula con líneas equidistantes cada 5 m con lo que se generó una rejilla de 36 puntos. En cada uno de los 36 puntos de intersección de la rejilla se tomaron fotografías hemisféricas a 2 m y a 1 m de altura del suelo. Para la toma de las fotografías se usó una cámara digital Nikon Coolpix 8400® con un lente tipo "ojo de pez" Sigma® de 8 mm autonivelante. El equipo, se montó a su vez sobre un monopie, para la toma de fotografías a 2 m y en un trípode para tomar las fotos a 1 m de altura. Las fotografías se manejaron con Adobe

Photoshop CS y se clasificaron con el programa HemiView 2.1, Canopy Analysis Software (AT Delta-T Devices).

Las fotos a 2 m se tomaron solo en los cafetales con sombra, con el objetivo de evaluar el grado de uniformidad de la sombra y de las condiciones de luz a la altura de los cafetos, y de analizar la situación en los dos diferentes cafetales de sombra (Parcela 2 y 3). En el cafetal sin dosel, se consideró que la cantidad de luz que llegaba al cultivo era la misma en todas las zonas de la cuadrícula. Las fotografías a 1 m de altura se tomaron en todos los cafetales y sirvieron, para registrar el efecto de la sombra del dosel arbóreo, más la de las plantas de café.

Para muestrear los nemátodos asociados al cultivo, se seleccionaron de 33 a 38 plantas de café al interior de cada parcela (parcela 1, n = 38 plantas; parcela 2, n = 33 plantas; parcela 3, n = 36 plantas). Considerando la posible diferencia por densidad de plantas de cafetos entre los cafetales (por la cual el número de plantas elegidas es diferente), se seleccionó de manera sistemática la primera y la tercera planta de una fila y la cuarta y última planta de la fila siguiente, continuándose este procedimiento para el resto de la parcela. Alrededor de cada planta elegida en el interior de la parcela, en un área circular de aproximadamente 60 cm de diámetro, se tomaron 8 muestras de suelo, usando un muestreador cilíndrico de 2.5 cm de diámetro y 35 cm de largo, para formar una muestra compuesta por planta. Las muestras se conservaron a baja temperatura en una hielera de campo, hasta llegar al laboratorio. Para cada parcela y a partir de una muestra compuesta, se determinó la textura del suelo.

En correspondencia de cada una de las plantas elegidas, a un 1m de altura, se tomó otra vez una fotografía hemisférica. Ello permitió correlacionar los nemátodos asociados a cada planta de café, con la luz que recibe el suelo alrededor de la misma planta.

Para cada una de las muestras compuestas sacadas, se extrajeron los nemátodos, utilizando el método de embudos de Baermann (McSorley y Welter, 1991), a partir de 100g de suelo cuidadosamente mezclado, que se dejó en extracción por 48 horas. Los nemátodos se sacrificaron y conservaron en agua con Formaldehído al 4% (Moens, 1993)

se contaron usando un microscopio estereoscopio, se procesaron según el método De Grisse (1969), y se montaron en portaobjetos. Se clasificaron en 4 grupos funcionales (bacterívoros, fungívoros, fitoparásitos y depredadores/omnívoros), según sus hábitos alimenticios, la morfología de la boca y del esófago, de acuerdo con Yeates y colaboradores (1993).

Cálculo de índices

Se calculó la proporción relativa de fungívoros (F) y bacterívoros (B) como el cociente F/B (Freckman and Ettema, 1993) y como $F / (F+B)$ según Neher (2001). Estos índices pueden ayudar en la interpretación de la respuesta de los nemátodos a la disponibilidad de materia orgánica en el suelo y en la descripción de los procesos de degradación y mineralización en curso (Ferris *et al*, 2001). Valores de los índices cercanos a cero, correspondientes a una mayor cantidad de nemátodos bacterívoros respecto a los fungívoros, están correlacionados a tasas rápidas de descomposición y ciclaje de los nutrientes y como consecuencia a una mayor disponibilidad de los mismos en el suelo. Por el contrario, valores de los índices cercanos a uno, correspondientes a una mayor proporción de fungívoros respecto a bacterívoros, indican la presencia de materia orgánica no labil, más difícil de mineralizar e implica una mayor lentitud de los procesos de degradación y una menor cantidad de nutrientes disponibles (Moor, 1994). Una mayor cantidad de bacterívoros respecto a la de fungívoros, está relacionada a la presencia de materia orgánica con una relación C/N < 20:1 (Ferris y Matute, 2003). Por el contrario, la descomposición realizada por fungívoros predomina cuando la materia orgánica se caracteriza por una alta relación C/N. Es así como, el análisis de la nematofauna se puede considerar un buen bioindicador de las condiciones del suelo y de la estructura y funcionalidad de la cadena alimenticia (Neher, 2001; Bongers y Ferris, 1999). Otro índice calculado fue la proporción entre los nemátodos fitoparásitos y los de vida libre (expresado en la tabla IV como Fit/Libre). Este índice, permitió tener indicaciones a cerca de la respuesta de los fitoparásitos respecto a la de los otros grupos funcionales (Neher, 2001), a la luz medida.

Los índices mencionados se calcularon para cada planta elegida, y así se pudieron relacionar a la medida de luz correspondiente.

Análisis estadístico

Para cada variable, se realizó un análisis estadístico descriptivo (medidas de tendencia central; con SPSS v.11) y uno geoestadístico (análisis de variogramas; con Surfer v.8.0 y GS+ v.5). Se aplicó la geoestadística para describir la variabilidad espacial, la autocorrelación de los datos y el grado y la escala de variación de las variables de estudio (luz y nemátodos).

El muestreo geoestadístico para la luz se realizó en una parcela de 40 m x 15 m, dividida en cuadros de 5 m x 5 m a formar una rejilla de 36 puntos en correspondencia de los cuales se tomaron las medidas de luz. Además al interior de cada parcela se midieron luz y nemátodos en correspondencia de 38 plantas de café (parcela sol “uniforme”), 33 plantas de café (parcela sombra “uniforme”) y 36 plantas de café (parcela sombra con “claros”) de las cuales se tomó su posición respecto el eje más largo (eje x) y el eje más corto (eje y), de la parcela. Dentro del análisis geoestadístico se realizaron variogramas para definir el porcentaje de la varianza luz y la comunidad de nemátodos que tiene una estructura espacial [definida como $C/(C+Co)$ en las tabla II de variogramas], y conocer a que escala los datos están autocorrelacionados (dimensiones de los parches). Eso indica, si estas variables se distribuyen de manera homogénea o heterogénea, en sentido general y dentro las dimensiones de la parcela experimental, y cual es la magnitud del fenómeno de autocorrelación.

Con los resultados de los variogramas y los datos de la rejilla, se realizó una ponderación de ambos (datos y variogramas) según el método de la interpolación por Kriging puntual, con el fin de generar mapas de contorno de la luz (a 2 m y a 1 m de altura a nivel rejilla, y a 1 m a nivel de las plantas de café elegidas) y de los grupos funcionales de nemátodos por parcela (Isaaks y Srivastava 1989).

Posteriormente, se estimaron los coeficientes de correlación de Pearson (análisis de correlación) entre la luz, los nemátodos y los índices. Por este propósito los datos se

transformaron en logaritmo natural ($x+1$). El análisis de correlación, junto con la evaluación de los mapas de contorno, sirvió para evaluar y relacionar la distribución espacial de los diferentes grupos funcionales de nemátodos y la distribución espacial de luz.

Resultados

La luz a 2 m de altura en la rejilla

Parcela 2 – Sombra “uniforme”

Es la parcela de sombra que recibió la cantidad de luz promedio ($0.63 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$) más baja y el coeficiente de variación (CV) más alto (26%), (Tabla I). El mapa de contorno y el análisis de semivarianza (Fig. 2 y Tabla II) demostraron que la luz se distribuye de manera heterogénea. El 94% de la varianza de los datos se presentó espacialmente dependiente, y la dimensión de los parches midió 10 m.

Parcela 3 – Sombra “con claros”

En esta parcela se registró en promedio más luz ($0.817 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$) en comparación a la parcela anterior, y a lo largo de toda la cuadrícula, condición que se observó en el mapa (Figura 2) y que en parte explica el CV más bajo (17%). El 92% de la varianza de los datos se presentó autocorrelacionada a una escala de 7.00 m, y la luz se distribuyó de manera heterogénea, aunque en general la heterogeneidad es representada por parches que difieren sólo por pequeñas variaciones en sus valores.

La luz a 1 m de altura en la rejilla

Parcela 1 – Sol “uniforme”

Esta parcela registró el valor promedio de luz máximo ($0.94 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$), y el CV más bajo (8 %) (Tabla I) de las parcelas muestreadas. Esta última característica sugiere que la parcela 1 de sol uniforme, fue la que recibió la luz de forma más homogénea. Tanto la observación del mapa como el análisis de semivarianza (Fig. 2 y Tabla II) confirmaron la homogeneidad de luz en esta parcela. El 68% de la varianza de los datos

se encontró espacialmente dependiente, si bien a una escala de 54.30 m, mayor a la magnitud de parcela. Al interior de ésta la luz se distribuyó de manera homogénea, con pequeñas variaciones de los valores de luz. A este nivel la parcela se considero de “sol uniforme” y así se definirá de ahora en adelante.

Parcela 2 – Sombra “uniforme”

En esta parcela se registró la menor cantidad de luz promedio ($0.23 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$) de las tres parcelas a este nivel, y presentó un CV de 52% (Tablas I). Se encontró que la cantidad máxima de luz que llega al suelo ($0.64 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$) nunca llega a igualar la cantidad mínima de luz que recibe la parcela de sol ($0.80 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$) (límites mínimos y máximos presentes en los mapas de contorno). El CV demuestra alta variabilidad (Tablas I) y el análisis de variograma (Tabla II) evidenció que 99% de la varianza de los datos es espacialmente dependiente a escala de 10.00 m. En realidad, aunque la luz se presentó estructurada, el mapa (Fig.2) mostró como los parches son caracterizados por diferentes gradientes de una sombra bastante homogénea, o sea, todo es sombra, si nos referimos a la cantidad de luz que llega el suelo, pero con pequeñas variaciones en los valores de luz, que son los que determinaron la heterogeneidad. Esta parcela se definió como sombra “uniforme”.

Parcela 3 – Sombra “con claros”

Esta parcela recibió una cantidad promedio de luz intermedia ($0.47 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$), respecto a las parcelas de sol “uniforme” y de sombra “uniforme”, y presentó un CV de 53%. En esta parcela la luz se distribuyó de manera heterogénea, con datos autocorrelacionados hasta 114 m (Tabla II). Aunque esta parcela presenta un dosel arbóreo, se crearon condiciones de fuerte contraste entre parches caracterizados por valores que consideramos “sombra” y parches caracterizados por valores de luz que consideramos “sol” (claros). Efectivamente, en el mapa se observaron zonas donde el suelo recibe cantidad de luz igual a la que recibió la parcela 1 de pleno sol. (Fig.2) La sombra de la parcela 3 se definió de sombra “con claros”.

La luz a nivel de las plantas elegidas

Parcela 1 – Sol “uniforme”

A nivel de las plantas elegidas, esta es la parcela que recibió el valor promedio de luz máximo ($0.80 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$), y que presentó el CV más bajo (22%) (Tabla I). Los resultados de semivarianza indicaron que la luz presenta una estructura espacial en forma de parches (datos autocorrelacionados hasta 6.40 m) (Tabla II), distribución que contrasta con la homogeneidad sugerida por un CV bajo. El mapa de contorno, muestra una zona de sombra en la parte central de la parcela, lo que se explica por ubicarse en esta área las plantas de café de mayor tamaño (Fig. 2). El resto de la parcela presentó variaciones mínimas de los valores de luz.

Parcela 2 – Sombra “uniforme”

En esta parcela el suelo en correspondencia con las plantas elegidas recibió la cantidad de luz promedio menor (Tabla I), si bien presentó un CV de 58%, lo que presupone una alta heterogeneidad. Efectivamente, la luz se presentó estructurada con datos autocorrelacionados hasta 9.18 m (Tabla II). No obstante, el mapa mostró como los valores de luz que caracterizan los parches nunca alcanzan el intervalo de valores que se consideró como “sol” ($0.80 - 1.00 \mu\text{m}/\text{m}^2\text{s}^1$), (Fig. 2). La heterogeneidad de la luz se debe a pequeñas variaciones existentes entre el intervalo de valores de luz que se definió como “sombra”.

Parcela 3 – Sombra “con claros”

En este cafetal, la heterogeneidad de la luz a nivel del suelo se expresó a partir de su CV (Tabla I), la que se corroboró con el mapa de contorno, donde existe evidencia de datos autocorrelacionados a 4.30 m (Tabla II, Fig. 2). La parcela 3, a nivel del suelo en correspondencia con las plantas elegidas, se caracterizó por un fuerte contraste sol-sombra, con parches caracterizados por valores de luz similares a los registrados en la parcela de sombra anterior, así como parches con valores de luz similares a la parcela de sol. Es de este modo como, nuevamente, esta parcela se puede definir como sombra “con claros”.

Grupos funcionales de nemátodos

La abundancia de cada grupo funcional de nemátodos, calculada como promedio (\pm desv. est.) por 100 gr. de suelo fue, en el caso de los fitoparásitos, de 2.03 ± 5.94 , 19.03 ± 31.97 y 2.61 ± 4.08 respectivamente para las parcelas sol “uniforme” ($n = 38$), sombra “uniforme” ($n = 33$), y sombra “con claros” ($n = 36$), Para los bacterívoros, se encontraron valores de 4.26 ± 7.24 , 155.94 ± 210.01 y 3.94 ± 4.43 respectivamente. En el mismo orden de las parcelas, los fungívoros presentaron un abundancia promedio de 3.11 ± 4.36 , 7.97 ± 14.08 y 0.06 ± 0.33 mientras que, para el grupo funcional depredadores - omnívoros se encontraron valores de 1.97 ± 1.95 , 16.76 ± 38.43 y 1.61 ± 1.85 . La abundancia de cada grupo funcional de nemátodos en el interior de cada parcela se presentó altamente variable como lo demuestran los CV (Tabla I), variando de 99% a 147% en la parcela manejada bajo sol; de 79% a 229% en la parcela de sombra definida como “uniforme”; y de 80% a 105% (sin considerar el valor 0%, debido a que en casi todos los puntos muestreados no se encontraron fungívoros) en la parcela definida como sombra “con claros”. En promedio (de todas las parcelas, por grupo funcional) los fitoparásitos tuvieron el CV más alto (183%), mientras que los bacterívoros resultaron los menos variables (71%). Los análisis de semivarianza sugieren que 50 a 100% de la varianza de la población muestreada, es espacialmente dependiente a una escala, que de 7.8 a 16 m en la parcela de sol; 4.3 a 12 m en la parcela definida como sombra “uniforme”; y 3.6 a 4.3 m en la definida como sombra “con claros” (Tablas II).

Los mapas relativos a la distribución de los nemátodos (Fig. 3) y los coeficientes de Pearson (Tablas III) confirmaron que algunos grupos funcionales se correlacionan entre sí de manera significativa. En la parcela definida como sol “uniforme”, los fitoparásitos se correlacionaron con bacterívoros ($r = 0.62$, $P < 0.01$), fungívoros ($r = 0.62$, $P < 0.01$) y depredadores - omnívoros ($r = 0.43$, $P < 0.01$). La distribución de los bacterívoros presentó correlaciones significativas con la de fungívoros y depredadores - omnívoros ($r = 0.52$, $P < 0.01$; $r = 0.38$, $P < 0.01$). Entre estos últimos dos grupos se encontró una correlación leve ($r = 0.31$, $P < 0.05$). Se determinaron correlaciones entre los mismos grupos de nemátodos, también en la parcela definida como sombra “uniforme”. Los

valores de los coeficientes se reportan en la Tabla III. En la parcela de sombra “con claros” los fitoparásitos se correlacionaron significativamente con los bacterívoros ($r = 0.45$, $P < 0.05$) y menos fuertemente con los fungívoros ($r = 0.32$, $P < 0.05$).

Los mapas de contorno de los nemátodos (Fig. 3) mostraron como en las parcelas 1 y 2 (sol “uniforme” y sombra “uniforme”), existe una tendencia en la distribución espacial de las diferentes categorías de nemátodos, las cuales se concentran más o menos en la misma área de la parcela. Por el contrario no se evidenciaron tendencias en la parcela de sombra “con claros”.

Relaciones entre las variables luz y nemátodos

En la parcela de sombra “con claros”, la única correlación significativa se determinó entre la luz y el grupo funcional depredadores-omnívoros ($r = 0.43$, $P < 0.05$). Las demás correlaciones no fueron relevantes.

En la parcela definida sombra “uniforme”, se evidenció una correlación significativa, pero débil ($r = 0.30$, $P < 0.05$) entre la cantidad de luz que llega al suelo y el grupo funcional depredadores-omnívoros. Los fitoparásitos y los bacterívoros se correlacionaron con el índice Fit/Libres ($r = 0.76$, $P < 0.01$; $r = 0.30$, $P < 0.05$); mientras fungívoros y depredadores-omnívoros se correlacionaron con el índice F/B ($r = 0.90$, $P < 0.01$; $r = 0.44$, $P < 0.01$) y F/ (F+B) ($r = 0.91$, $P < 0.01$; $r = 0.46$, $P < 0.01$).

En la parcela de sol “uniforme”, aunque no se determinaron correlaciones directas entre la luz y los grupos funcionales de nemátodos, se encontraron correlaciones entre la primera y los tres índices calculados: Fit/Libre ($r = 0.44$, $P < 0.01$); F/B y F/ (F+B) ($r = 0.30$, $P < 0.05$ para ambos).

Discusión

Los resultados demuestran, al igual que en otros agroecosistemas estratificados, que tanto a la altura de los cafetos como a nivel del suelo, la luz es espacialmente dependiente y se distribuye de manera heterogénea (Baldochi y Collineau, 1994;

Breshears *et al.*, 1997). Sin embargo, como se manifestó en la parcela en pleno sol, la distribución de la luz a nivel del suelo puede ser homogénea hasta una escala muy amplia aunque se pueden crear parches como las que se encuentran en parcelas con dosel arbóreo, por la sombra de las plantas de café.

En las parcelas de sombra, a la altura de los cafetos, la heterogeneidad es determinada por parches que se diferencian por pequeñas variaciones de sombra y no se encontraron condiciones de luz extremas, las cuales al contrario se evidenciaron a cerca del suelo en correspondencia de las plantas elegidas. A este nivel, se crearon condiciones de luz muy contrastantes y por tanto se pueden crear microhabitats, iguales a los que se encuentran en un cafetal manejado en pleno sol.

La variabilidad espacial en general y la heterogeneidad de luz influyen sobre la distribución de factores microclimáticos y edáficos, sobre la distribución de microorganismos del suelo y su biodiversidad (Ettema y Wardle, 2002; Jackson y Caldwell, 1993; Baldocchi y Collineau, 1994; Breshears *et al.*, 1997). Por eso consideramos interesante, sobretodo trabajando con organismos o procesos que se verifican en el suelo, la adopción de la metodología de la geoestadística. En un agroecosistema tan diverso como es un cafetal, por lo menos para trabajos que conciernen la ecología del suelo y su fauna, esta metodología, podría dar índices más cercanos a la realidad y permitiría explorar el impacto de condiciones diferentes sin la necesidad de tener a disposición un gran numero de repeticiones dentro de un mismo sitio de estudio. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que el muestreo y el análisis geoestadístico proporcionan informaciones características del sitio de estudio, así que para extrapolar los resultados sería necesario replicar el mismo muestreo geoestadístico en más sitios.

Los datos obtenidos demuestran como en el agroecosistema cafetal, la agregación espacial es una característica también de los grupos funcionales de nemátodos. Para conocer la distribución espacial de los nemátodos, las técnicas geoestadísticas han sido muy útiles. Inicialmente se utilizaron para estudiar la distribución espacial de los fitoparásitos (Goodell y Ferris, 1981; Noe y Barker, 1984; Webster y Boag, 1992). Posteriormente, se relacionó la distribución espacial de grupos funcionales y géneros de

nemátodos a diferentes factores edáficos y microclimáticos (McSorley *et al.*, 1985; Ferris *et al.*, 1990; Robertson y Freckman, 1995; Ettema *et al.*, 1998; Ettema y Yeates, 2003). En la mayoría de estos estudios, se encontró que los nemátodos se distribuyen de manera heterogénea en parches a diferentes escalas (6 - 1200 m). Nuestros resultados son comparables a los de otros estudios, en los cuales ha sido encontrada autocorrelación espacial para los nemátodos y otros microorganismos del suelo, en diferentes ecosistemas (Robertson *et al.*, 1993; Fromm *et al.*, 1993; Gallardo *et al.*, 2000; Jackson y Caldwell, 1993). Ettema y colaboradores (1998) en un humedal encontraron que los bacterívoros estaban autocorrelacionados a una distancia de 67 m y Robertson y Freckman (1995) trabajando en un monocultivo de maíz, encontraron que los grupos funcionales de nemátodos, tenían una dependencia espacial a una escala de 6 - 80 m, mientras los fitoparásitos no resultaron espacialmente autocorrelacionados hasta los 1200 m. En los cafetales estudiados, la estructuración espacial para todos los diferentes grupos funcionales de nemátodos se refleja a escala menor, entre los 3.6 y 16 m. Aunque eso pueda depender en parte de la escala más chica del diseño experimental utilizado, podría reflejar también una condición de menor disturbio del suelo y de mayor diversidad vegetal y de condiciones microclimáticas del agroecosistema cafetal, respecto a otros ecosistemas. En un monocultivo de maíz y en un humedal, como lo investigados en los trabajos mencionados anteriormente, por un lado se ejecutan labores más intensas y por el otro las condiciones microambientales que se crean son más uniformes, lo que determina la formación de parches de nemátodos más grandes. Se sabe efectivamente que la homogeneidad y las dimensiones promedios de los parches, tanto de factores bióticos como abióticos, aumentan en suelos más estresados o perturbados (Ettema y Wardle, 2002; Robertson y Freckman, 1995; Robertson *et al.*, 1993).

La respuesta de los nemátodos a las diferentes condiciones de luz que se crean a nivel suelo en las tres parcelas bajo estudio, es muy similar. No hay sustanciales diferencias ni en la distribución, que es agregada, ni en la escala de autocorrelación (dimensiones de los parches), de los diferentes grupos funcionales de nemátodos. No obstante se observó, en las parcelas de sol y sombra definidas como “uniforme” la

tendencia de todos los grupos de nemátodos a concentrarse más o menos en la misma zona, en correspondencia de la cual probablemente unas condiciones microclimáticas (tal vez de temperatura y humedad) son más favorables a su presencia, respecto al resto de la parcela. Al contrario en la parcela de sombra “con claros”, donde se evidenciaron contrastes entre zonas de sol y de sombra, no se evidenció ninguna tendencia a nivel de la comunidad. Esta situación puede ser debida a que la heterogeneidad espacial de la luz, crea heterogeneidad de las condiciones microclimáticas (Baldocchi y Collineau, 1994; Breshears *et al.*, 1997), a las cuales cada grupo funcional responde individualmente, concentrándose en una u otra zona.

Así como en otros trabajos (Ettema *et al.*, 1998; Robertson y Freckman, 1995), se encontraron escasas o bajas relaciones entre nemátodos y condiciones edáficas como la disponibilidad de N, de C y pH. Tampoco encontramos fuertes relaciones entre la luz y los nemátodos y la luz y los índices calculados. Esto podría deberse a una respuesta diferencial de los géneros/especies que conforman cada grupo funcional a una misma variable, que enmascara las correlaciones a nivel de grupo funcional. Además, la respuesta de los taxa diferentes pertenecientes a un mismo grupo funcional, puede diferir según el periodo del año, (Ettema *et al.*, 1998). Es así como consideramos importante en un próximo estudio con el mismo enfoque, incluir conjuntamente un análisis de la distribución espacial de los nemátodos hasta nivel de género, y un análisis temporal, tanto para los nemátodos, como para los otros factores bajo estudio, en el cual se ejecuten muestras de suelo, en la misma rejilla o transecto, repetidas a lo largo de un periodo que incluye tanto la época de secas, como la de lluvias, lo cual por cuestiones de tiempo limitado y por cuestiones logísticas no fue posible incluir. Muchos cafetales se encontraban demasiados lejos del pueblo y con caminos absolutamente inaccesibles en esta época durante la cual las lluvias pueden durar varios días, sin dejar el tiempo al suelo de secarse suficientemente como para poder muestrear. Al incluir un muestreo en época de lluvias, podría también favorecer una mayor abundancia de nemátodos. En nuestras muestras la abundancia de la nematofauna fue menor respecto a lo que se encontró en otros estudios (Robertson y Freckman, 1995; Ettema y Yeates, 2003; Yeates,

2007), pero comparable a lo que encontraron Pen-Mourato v y Steinberger (2005) y Salguero Londoño (2006) usando el mismo método de extracción.

En la parcela de sol, mayores niveles de luz fueron asociados a una proporción mayor de fitoparásitos respecto a los otros grupos funcionales. Estos resultados concuerdan con lo que encontraron Pen-Mouratov y Steinberg (2005) y Balmaceda Rodríguez y Cruz Siles (1998). Los primeros estudiaron la abundancia de los diferentes grupos tróficos de nemátodos en un ecosistema desértico en el sur de Israel, y encontraron que los nemátodos fitoparásitos en condiciones de alta temperatura y escasa humedad, eran el grupo más abundantes representando más del 50 % de la comunidad. Los segundos, comparando la nematofauna en cafetales manejados en presencia de sombra y en pleno sol, determinaron una mayor abundancia de fitoparásitos en estos últimos.

Es así como se considera que las plantas de café cultivadas en pleno sol, se presentan más expuestas al daño por nemátodos y por otras enfermedades favorecidas de este tipo de manejo y de la presencia de fitoparásitos, como puede ser el “Mal de Viñas”, como averiguaron Morales y colaboradores (1996).

En la parcela bajo estudio manejada en pleno sol, se evidenció también una relación positiva entre la luz y el índice F/B. Eso indica que en presencia de luz en el suelo hay una mayor abundancia relativa de fungívoros respecto a bacterívoros (F/B). Pen-Mouratov y Steinberg (2005), encontraron que en presencia de altas temperaturas y baja humedad, los fungívoros son más abundantes de los bacterívoros y representan el segundo grupo trófico de nemátodos en términos de abundancia. Eso podría explicar en parte el alto índice F/B encontrado en el cafetal bajo sol. Una mayor proporción de fungívoros respecto a bacterívoros, se establece cuando en el suelo se acumula materia orgánica no labil, caracterizada por un alta relación C/N. Estudios en cafetales (Babbar y ZaK, 1994) han demostrado como la disponibilidad de N es menor y su pérdida por lixiviación mayor, cuando el cultivo es manejado en pleno sol. Es así como esto podría tender a aumentar en el suelo la relación C/N. Por lo anterior y dado que los fungívoros están asociados con un ciclo de degradación de la materia orgánica más lento, (Ferris y Matute, 2003; Diemont y Martin, 2005; Neher *et al.*, 2005), las relaciones encontradas en

nuestro estudio sugieren que en presencia de luz es posible que se manifieste una tendencia a que la mineralización de la materia orgánica sea más lenta, y como consecuencia que la disponibilidad de nutrientes prontamente utilizables será menor. Se reconoce que en presencia de más luz y entonces de más calor la descomposición de la materia orgánica es mayor no obstante, aunque al mismo tiempo se sabe que condiciones microclimáticas más extremas, inhiben o reducen la actividad de los microorganismos (Pet-Mouratov y Steinberg, 2005; Steinberg y Sarig, 1993) en los procesos de degradación de la materia orgánica.

En conclusión, la luz y los grupos funcionales de nemátodos exhiben autocorrelación espacial en el agroecosistema cafetal, pero a diferentes escalas. La luz a nivel del suelo, en cafetales bajo dosel arbóreo, no es “todo sombra” y en cafetales bajo sol, no es “todo sol”, sino una mezcla de parches de sombra y sol. El diferente manejo de la sombra, en términos de cantidad y distribución de la luz, no tiene influencia sobre la distribución de los grupos funcionales de nemátodos, ni sobre su escala de autocorrelación. Sin embargo, parece influir en las relaciones que se establecen entre ellos. En la parcela de sol “uniforme”, los valores más altos, de los índices Fit/libre y F/B, se encontraron asociados a valores más altos de luz. Esta tendencia por un lado, volvería las plantas de café cultivadas en pleno sol, más expuestas al daño por estos nemátodos y por el otro podría volver más lento el proceso de degradación de la materia orgánica, asociándose los fungívoros a una mineralización lenta. Un estudio controlado de laboratorio podría ser útil para confirmar estos resultados.

Consideramos que los resultados ofrecen indicaciones para afinar las preguntas de investigación y la metodología, en estudios similares o sucesivos, enfocados en el uso del análisis espacial como instrumento para evaluar el efecto de la variabilidad ambiental en estudios de campo.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias al apoyo financiero del Proyecto “Adaptación Strategies and Risk Reduction towards Economic and Climatic Shocks: Lessons from the Coffee Crisis in Mesoamerica” con financiamiento del Inter American Institute for Global Change Research y del Proyecto “Los grupos funcionales de nemátodos como indicadores de la conservación del suelo en cafetales bajo diferentes manejos, Chiapas, México” con financiamiento del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Igualmente no habría sido realizable sin la colaboración y la disponibilidad de los cafeticultores de San Cayetano: Don Antonio, Edgar Moisés, Ramiro, Jesús Ángel, Don Joaquín, Don Marcos y Don Sebastián.

Al Dr. Salvador Hernández Daumás del departamento de Agroecología de la Unidad de Villahermosa, por el préstamo del aparato usado para la toma de las fotografías hemisféricas, para su amabilidad y disponibilidad.

A Rina Pellizzari Raddatz por su ayuda en el trabajo con Photoshop.

A Ángel Álvarez, Conrado Martínez Trujillo, Pedro Ramírez López, por el apoyo técnico y moral en campo. A Jesús Carmona de La Torre, Manuel Gutiérrez Gómez, Miguel Ángel López Anaya, Juan Morales López y Guadalupe Pérez Escobar por el apoyo en laboratorio y a Maria Eugenia Najera, para su ayuda en la parte administrativa.

Stewart Diemont agradece al Colegio de la Frontera Sur por su beca posdoctoral.

TEXTOS TABLAS Y FIGURAS

Tabla I. Promedio (± 1 D.E.) y coeficiente de variación (CV en %) de la luz que llega al suelo, los nemátodos y textura del suelo.

Unidad de medida de la luz: $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$

Unidad de medida nemátodos: abundancia absoluta/ 100g de suelo

Tabla II. Análisis de variogramas y modelos utilizados para las variables luz, en las parcelas de café bajo estudio.

$C / (C+Co)$: Porcentaje de la varianza de los datos que tienen una estructura especial.

* En esta parcela, no se pudo realizar el análisis de variogramas, por escasa abundancia de nemátodos fungívoros.

Tabla III. Coeficientes de correlación de Pearson para la variable luz y los grupos funcionales de nemátodos [transformados en LN (x+1)]. Únicamente se incluyen las variables estadísticamente significativas (* = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$). En negritas las variables donde el modelo de regresión también fue significativo.

XXX= para la escasez de fungívoros en esta parcela no fue posible definir las correlaciones con los índices.

Figura 1. Mapas de ubicación del área de estudio

Figura 2. Mapas de contorno por parcela, de la luz que llega al suelo.

La unidad de medida de la luz se expresa en $\mu\text{m}/\text{m}^2 \text{s}^1$.

Los círculos negros representan las plantas elegidas.

Figura 3. Mapas de contorno por parcela, de los grupos funcionales de nemátodos.

No se pudo realizar el mapa relativo a los nemátodos fungívoros a causa de su escasa abundancia. La unidad de medida de los nemátodos es dada de la abundancia absoluta/ 100 gr de suelo.

Tabla I

Variable	Parcela 1 - Sol "Uniforme"	Parcela 2 - Sombra "Uniforme"	Parcela 3 - Sombra "con claros"
Luz rejilla 2 m	XXX	0.63 (0.16) – 26%	0.82 (0.14) – 17%
Luz rejilla 1 m	0.94 (0.08) – 8%	0.32 (0.17) – 52%	0.47 (0.25) – 53%
Luz plantas 1 m	0.80 (0.18) – 22%	0.23 (0.14) – 58%	0.39 (0.24) – 62%
Fitoparasitos	7.0 (9.3) – 133%	36.9 (35.3) – 96%	5.2 (4.4) – 85%
Bacterivoros	5.2 (7.7) – 147%	171.5 (214.1) – 125%	5.5 (4.3) – 80%
Fungivoros	4.7 (4.6) – 105%	20.2 (16.0) 79%	2.0 (0.0) – 0.0%
Depred/Omnivo	2.0 (2.0) – 99%	16.8 (38.4) – 229%	1.6 (1.9) – 115%
Textura (% Arcilla-Arena-Limo)	F arc (24.9 - 37.1 - 38.0)	F arc (36.9 - 37.1 - 26.0)	Arc (18.9 - 41.1 - 40.0)

Unidad de medida de la luz: $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}^1$

Unidad de medida nemátodos: abundancia absoluta/ 100g de suelo

Tabla II

Variables	Parcela 1 - Sol "uniforme"				Parcela 2 - Sombra "uniforme"				Parcela 3 - Sombra "con claros"			
	Modelo	C/(C+Co)	Parche (m)	r ²	Modelo	C/(C+Co)	Parche (m)	r ²	Modelo	C/(C+Co)	Parche (m)	r ²
Luz rejilla 2 m	xxx	xxx	xxx	xxx	Esferico	0.99	17.4	0.99	Esponencial	0.92	7.0	0.99
Luz rejilla 1 m	Esferico	0.65	54.3	0.68	Esferico	0.94	10.0	0.99	Esferico	0.99	13.4	0.60
Luz plantas 1 m	Esferico	1.00	6.4	0.79	Esferico	0.99	9.2	0.86	Esferico	0.97	4.9	0.43
Fitoparasitos	Esferico	1.00	16.0	0.90	Esferico	0.99	4.3	0.67	Esferico	0.94	4.3	0.45
Bacterivoros	Esferico	0.96	9.6	0.45	Esferico	1.00	6.0	0.88	Esferico	0.89	3.6	0.23
Fungivoros	Esferico	0.50	12.0	0.44	Esferico	1.00	4.6	0.70	Esferico	<i>No se realizo el variograma*</i>		
Depred/Omnivo	Esferico	1.00	7.8	0.84	Esferico	0.99	12.0	0.70	Esferico	1.00	4.0	0.67

C / (C+Co): Porcentaje de la varianza de los datos que tienen una estructura especial.

* En esta parcela, no se pudo realizar el análisis de variogramas, por escasa abundancia de nemátodos fungívoros.

Tabla III

		Coeficientes de correlación								
Variables		Luz plantas	Fitoparasitos	Bacterivoros	Fungivoros	Depre-Omni	F/B	F/(F+B)	Fit/Libres	
Parcela 1	Sol "uniforme"	Luz plantas	1.00	0.37	0.11	0.25	0.18	0.30*	0.30*	0.44**
		Fitoparasitos		1.00	0.62**	0.62**	0.43**	0.21	0.22	0.90**
		Bacterivoros			1.00	0.52**	0.38**	-0.12	0.00	0.50**
		Fungivoros				1.00	0.31*	7.00	0.75**	0.43**
		Depre-Omni					1.00	0.04	0.04	0.22
Parcela 2	Sombra "uniforme"	Luz plantas	1.00	0.06	-0.10	0.06	0.30*	0.11	0.11	-0.20
		Fitoparasitos		1.00	0.60*	0.36*	0.50**	0.26	0.27	0.76**
		Bacterivoros			1.00	0.52**	0.55**	0.28	0.32*	0.30*
		Fungivoros				1.00	0.54**	0.90**	0.91**	0.01
		Depre-Omni					1.00	0.44**	0.46**	0.05
Parcela 3	Sombra "con claros"	Luz plantas	1.00	0.11	0.11	-0.08	0.43*	-0.09	-0.09	-0.13
		Fitoparasitos		1.00	0.45*	0.32*	0.26	0.32*	0.32*	0.70*
		Bacterivoros			1.00	0.31	0.13	0.31	0.31	-0.05
		Fungivoros				1.00	-0.02	xxx	xxx	xxx
		Depre-Omni					1.00	-0.02	-0.02	-0.16

XXX= para la escasez de fungívoros en esta parcela no fue posible definir las correlaciones con los índices.

UBICACION DEL MUNICIPIO DE EL BOSQUE, CHIAPAS.

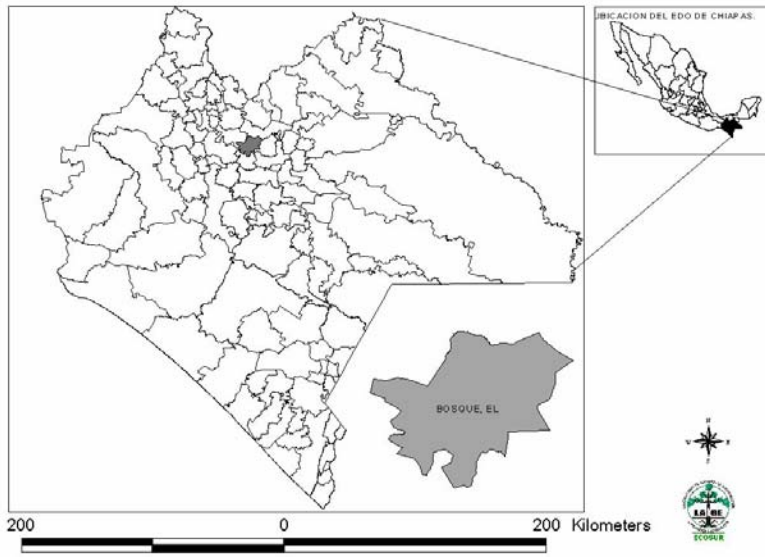


Figura 1

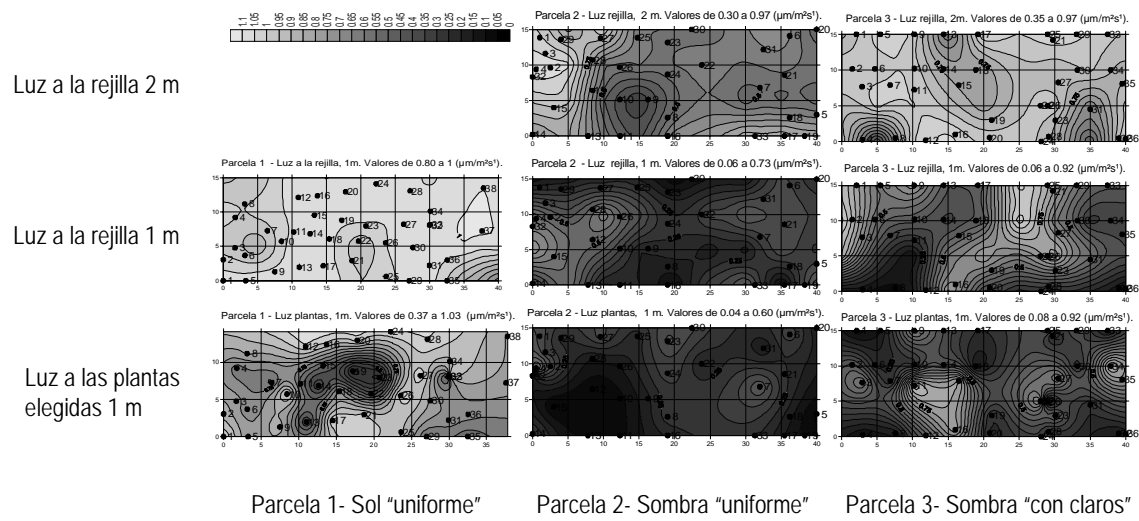


Figura 2

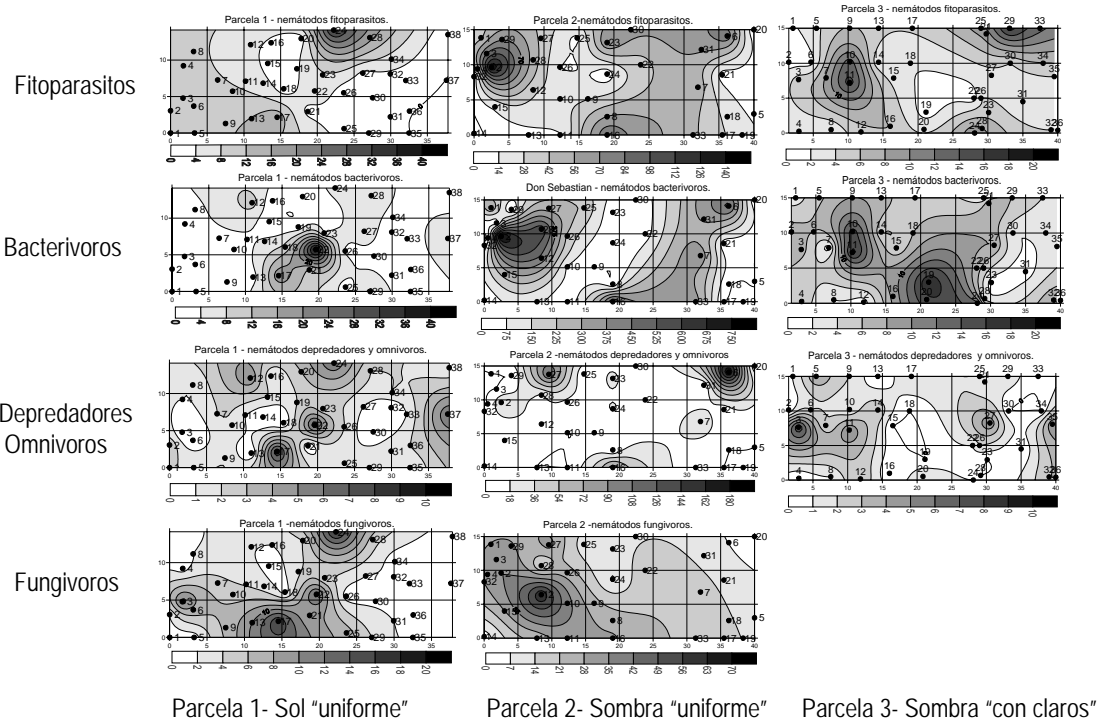


Figura 3